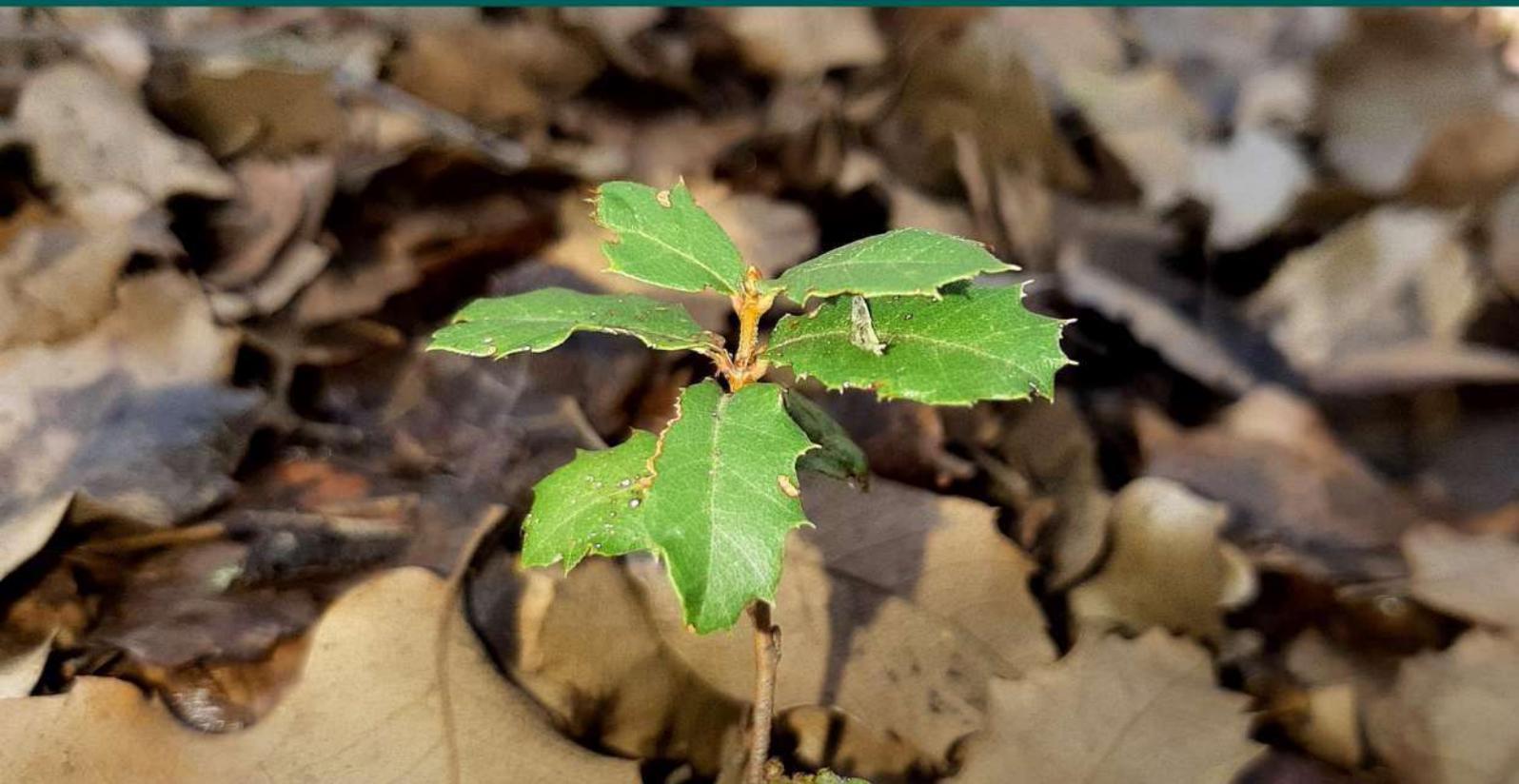


# CONEIA 2022

## XI CONGRESO NACIONAL DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

# LIBRO DE ACTAS



## LA EVALUACIÓN AMBIENTAL EN TIEMPOS DE CAMBIO

Implicaciones ecosistémicas, sociales y sobre la salud global



Cáceres, 23, 24 y 25 de marzo de 2022  
[www.eia.es](http://www.eia.es)



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA  
TERCERA DEL GOBIERNO  
MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

**IAIA**  
International Association  
for Impact Assessment



**eia**

asociación española de  
evaluación de impacto ambiental

PATROCINADORES ESPECIALES:



PATROCINADORES:



PATROCINADORES GENERALES:



COLABORADORES:



# CONEIA 2022

XI CONGRESO NACIONAL DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

**La Evaluación Ambiental en Tiempos de Cambio**  
Implicaciones ecosistémicas, sociales y sobre la salud global  
Cáceres, 23, 24 y 25 de marzo de 2022

## LIBRO DE ACTAS



Catálogo de publicaciones del Ministerio: <https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/servicios/publicaciones/>  
Catálogo general de publicaciones oficiales: <https://cpag.mpr.gob.es/>

XI Congreso Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental

Edición 2023



MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN  
ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita  
© SUBSECRETARÍA  
Gabinete Técnico

NIPO: 665-23-057-1  
ISBN: 978-84-18778-18-6

Maquetación: Solana e hijos, A.G., S.A.U.

## PRESIDENTA DEL COMITÉ DE HONOR

Su Majestad la Reina Dña. Letizia Ortiz Rocasolano.

## MIEMBROS DEL COMITÉ DE HONOR

- **Dña. Teresa Ribera Rodríguez.**  
Vicepresidenta Tercera y Ministra para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- **Dña. Carolina Darias San Sebastián.**  
Ministra de Sanidad.
- **D. Guillermo Fernández Vara.**  
Presidente de la Junta de Extremadura.
- **D. Luis Salaya Julián.**  
Alcalde de Cáceres.
- **Dña. Olga García García.**  
Consejera para la Transición Ecológica y Sostenibilidad de Extremadura.
- **D. José M<sup>a</sup> Vergeles Blanca.**  
Vicepresidencia Segunda y Consejería de Sanidad y Servicios Sociales de Extremadura.
- **Dña. Leire Iglesias Santiago.**  
Consejera de Movilidad, Transporte y Vivienda de Extremadura.
- **D. Joaquín Olona Blasco.**  
Consejero de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente de Aragón.
- **D. Miquel Mir Gual.**  
Consejero de Medio Ambiente y Territorio de Baleares.
- **D. Francisco Martínez Arroyo.**  
Consejero de Agricultura, Agua y Desarrollo Rural de Castilla La Mancha.
- **D. José Luis Escudero Palomo.**  
Consejero de Desarrollo Sostenible de Castilla La Mancha.
- **Dña. Paloma Martín Martín.**  
Consejera de Medio Ambiente, Vivienda y Agricultura de la Comunidad de Madrid.
- **D. Antonio Luengo Zapata.**  
Consejero de Agua, Agricultura, Ganadería, Pesca y Medio Ambiente de la Región de Murcia.
- **Dña. Itziar Gómez López.**  
Consejera de Desarrollo Rural y Medio Ambiente de Navarra.
- **D. Antonio Hidalgo García.**  
Rector de la Universidad de Extremadura.
- **D. José Luis Oncins Martínez.**  
Decano de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Extremadura.

- **Dña. Marla Orenstein**  
Presidenta de la IAIA- International Association for Impact Assessment.

### COMITÉ ORGANIZADOR

- **D. Jorge Abad García.**  
Decano del Colegio de Biólogos de Aragón. Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **D. Miguel Ángel Casermeiro Martínez.**  
Universidad Complutense de Madrid. Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **D. Manuel Díaz Martín.**  
Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **D. Eugenio Dominguez Collado.**  
Subdirector General de Evaluación Ambiental del MITECO
- **D. Santiago Fernandez Rodríguez,**  
Universidad de Extremadura. Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **Dña. Jovita García Collado.**  
Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **D. Julián Mora Aliseda.**  
Universidad de Extremadura.
- **D. Íñigo Sobrini Sagaseta de Ilurdoz.**  
ICMA, s.l. Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **Dña. Ana Vázquez Valverde.**  
Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.

### COMITÉ CIENTÍFICO

- **D. Jorge Abad García.**  
Decano del Colegio de Biólogos de Aragón. Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **Dña. Manuela Andrés Abellán.**  
Universidad de Castilla La Mancha. Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **Dña. Rosa Arce Ruiz.**  
Universidad Politécnica de Madrid.
- **D. Miguel Ángel Casermeiro Martínez.**  
Universidad Complutense de Madrid. Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **D. Mario Castellanos Díez.**  
SAITEC
- **D. Manuel Díaz Martín.**  
Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.

- **D. Santiago Fernandez Rodríguez,**  
Universidad de Extremadura. Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **Dña. Ainhoa González del Campo.**  
University College of Dublin. Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **D. Javier Granero Castro.**  
TAXUS S.L. Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **D. Carlos Iglesias Merchan.**  
Universidad Politécnica de Madrid.
- **D. Juan Miguel Martínez Orozco.**  
Universidad Europea de Madrid.
- **D. Julián Mora Aliseda.**  
Universidad de Extremadura.
- **D. Angel Sánchez García.**  
Junta de Extremadura.
- **D. Íñigo Sobrini Sagasetta de Ilurdoz.**  
ICMA, s.l. Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- **D. Fernando Vicente Dávila.**  
Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.

<b>PRESENTACIÓN</b>	11
<b>PRÓLOGO</b>	13
<b>ACTO DE APERTURA</b>	17
<b>ACTO DE CLAUSURA. CONCLUSIONES</b>	21

## COMUNICACIONES

### BLOQUE 1

#### ACTUALIZACIÓN DEL MARCO NORMATIVO

LA EVALUACION ADECUADA DE LA RED NATURA 2000: ¿HEMOS PROGRESADO? <i>Diez de Revenga Martínez, Emilio</i>	23
PROYECTOS URBANÍSTICOS SOMETIDOS A EVALUACIÓN DE IMPACTO <i>Diez de Revenga Martínez, Emilio</i>	28

### BLOQUE 2

#### AVANCES EN METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN

GUÍA PARA LA INCORPORACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE INSTRUMENTOS DE ORDENACIÓN URBANÍSTICA DE ANDALUCÍA <i>Tola Pérez, I.; Álvarez Peláez, S.; Pinilla López, A.B.; Extremera Llamas, N.</i>	35
EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES BASADA EN LA SOSTENIBILIDAD RELACIONADA CON LA ALERGENICIDAD Y LA INFRAESTRUCTURA VERDE URBANA EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN. <i>Fernández Rodríguez, S.; Fernández Alvarado, J.F.</i>	40
BIOMONITORING 2.0: ENVIRONMENTAL DNA TECHNIQUES FOR THE STUDY OF RIVERS DIVERSITY. DETERMINATION OF THE BENTHONIC MACROINVERTEBRATE INDEXES. ADVANTAGES, PROGRESS AND BARRIERS <i>Fuego Rodríguez, A.; Granero Castro, J.; Escudero Marina, A.; Cordon Ezquerro, J.; Borrell Pichs, Y.J.</i>	50
IMPACTO DE LAS AUTOVÍAS SOBRE LAS COMUNIDADES DE INSECTOS <i>García Sánchez-Colomer, M.R.; Viejo Montesinos, J.L.; Díaz Alegre, J.; Franco Saldarriaga, A.; García Tuesta, O.</i>	60
CUANTIFICACIÓN DE EFECTOS INDIRECTOS: EFECTOS SINÉRGICOS EN PROYECTOS SOLARES FOTOVOLTAICOS <i>González López, J.J.; Luque Romero, E.; Ruiz Díez, A.</i>	70
¿ESTÁ MEJORANDO LA CALIDAD DE LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL EN PARQUES EÓLICOS CON LA APLICACIÓN DE NORMATIVAS ESPECÍFICAS? <i>Guillén Lagos, M.; Barrientos Yuste, R.; Ibáñez Ulargui, C.; González Álvarez, F.; Alcalde Díaz de Cerio, J.T.; Tena López, E.</i>	80
EL DILEMA DE LA INTEGRACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE IMPACTO EN LA SALUD EN LA EVALUACIÓN AMBIENTAL <i>Carlos Iglesias Merchán, Elvira Domínguez Ares</i>	89

SPECIES. SENSIBILIDAD A PARQUES EÓLICOS. CÁLCULO DE LA INCIDENCIA EN ESPECIES SILVESTRES <i>Refoyo Román, P.; Olmedo Salinas, C.; López Alía, T.; García Deltell, A.; Muñoz Araujo, B. y Hernández De Miguel, J.M.</i>	98
PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE CAPACIDAD DE ACOGIDA MEDIANTE HERRAMIENTAS GIS Y EL ANÁLISIS CUANTITATIVO DE ALTERNATIVAS <i>Rodríguez García, J.; Pérez García, J.R.; Sánchez Arango, M.; Granero Castro, J.</i>	108
ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DE PROYECTOS FRENTE A ACCIDENTES GRAVES O CATÁSTROFES: EL NUEVO RETO INTRODUCIDO POR LA LEY 9/2018 <i>Sánchez Arango, M.; Rodríguez García, J.; Pérez García, J.R.; Granero Castro, J.</i>	118
APLICACIÓN DEL MÉTODO PATTERN EN EL PROCESO DE ANÁLISIS CUANTITATIVO MULTICRITERIO DE LAS ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN DE LA EDAR ESTE DE GIJÓN (ASTURIAS) <i>Sánchez Arango, M.; Cordon Ezquerro, J.; Rodríguez García, J.; Granero Castro, J.</i>	127
(EVALUACIÓN, MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y RECOMENDACIONES PARA MINIMIZAR EL POTENCIAL IMPACTO OCASIONADO POR EL TRÁFICO MARÍTIMO SOBRE LAS POBLACIONES DE CETÁCEOS MARINOS EN LA COSTA OCCIDENTAL DE LA INDIA <i>Villazán Peñalosa, B.; Rodríguez García, J.; Ponte Mosquera, C.; Granero Castro, J.</i>	138

### BLOQUE 3 VIGILANCIA AMBIENTAL

MONITOREO DE LA CALIDAD DEL SUELO EN UNA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA, MEDIANTE APLICACIÓN DE ÍNDICES MULTIPARÁMETRICOS VIGILANCIA AMBIENTAL: LA CLAVE DEL ÉXITO <i>Andrés Abellán, M.; Picazo Córdoba, M.I.; García Saucedo, F.; García Morote, F.A.; Rubio Caballero, E.M.; Wic Baena, C.; López Serrano, F.R.</i>	146
LA VIGILANCIA AMBIENTAL DEL PUERTO DE EL MUSEL Y EL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE 14 Y 15. CASO PRÁCTICO <i>Gómez de la Torre, V.; Rodríguez García, J.; González Arenales, M. y Granero Castro, J.</i>	154
APLICACIÓN DE LAS CONCLUSIONES DEL ESTUDIO BÁSICO DE DINÁMICA LITORAL DEL PROYECTO DE DRAGADO DEL CANAL DE LA RÍA DE NAVIA EN LA REGENERACIÓN INDIRECTA DE LA PLAYA DE NAVIA. CASO PRÁCTICO <i>Gómez de la Torre, V.; Montes Cabrero, E.; Rodríguez García, J.; Torp Larsen, P. y Granero Castro, J.</i>	163
DISEÑO ESPECÍFICO DE ESTRATEGIAS DE CAPTURA Y SALVAGUARDA PISCÍCOLA EN INSTALACIONES Y CENTRALES HIDRÁULICAS <i>Villazán Peñalosa, B.; Cordon Ezquerro, J.; Escudero Marina, A.; González Corral, E.; Mateo López, M.; Ortega Fernández, A.; Armas Mouriño, R.; Granero Castro, J.</i>	174
ANÁLISIS DEL POTENCIAL ECOLÓGICO DE EMBALSES Y SU IMPORTANCIA EN LA DETERMINACIÓN DEL ESTADO BÁSICO DE TIPO DINÁMICO COMO MEDIDA DE GESTIÓN <i>Villazán Peñalosa, B.; Cordon Ezquerro, J.; Escudero Marina, A.; Montes Cabreo, E.; Toraño Valle, C.; Fernández González, E., Granero Castro, J.</i>	181

### BLOQUE 4 Transición Energética y Cambio Climático

INTEGRACIÓN AMBIENTAL DE PLANTAS FOTOVOLTAICAS EN EL TERRITORIO I. SUELO <i>Andrés Abellán, M.; Picazo Córdoba, M.I.; García Saucedo, F.; García Morote, F.A.; Rubio Caballero, E.M.; Wic Baena, C.; López Serrano, F.R.</i>	189
INTEGRACIÓN AMBIENTAL DE PLANTAS FOTOVOLTAICAS EN EL TERRITORIO II. FAUNA Y FLORA <i>Andrés Abellán, M.; Picazo Córdoba, M.I.; García Saucedo, F.; García Morote, F.A.; Rubio Caballero, E.M.; Wic Baena, C.; López Serrano, F.R.</i>	196

LA I+D+I DE ENERGÍA EÓLICA MARINA, EVALUACIÓN AMBIENTAL Y ANÁLISIS DE EFECTOS ACUMULATIVOS Y SINÉRGICOS <i>Castellanos Diez, Mario; Anza Goñi, Paula; Del Real Tuñón, Javier</i>	205
APLICACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE CÁLCULO DE UNIDADES DE ABSORCIÓN DE CARBONO AZUL PARA PROYECTOS EN MARISMAS Y PRADERAS DE ANGIOSPERMAS MARINAS E ANDALUCÍA <i>Hernández, I; Brun, FG; Egea, LG; Jiménez-Ramos, R.</i>	214
ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO: APROXIMACIONES PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD CLIMÁTICA DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE TERRESTRE <i>Martínez-Orozco, J.M.; Tejera Cañizales, A.J.; Galisteo Moreno, M.</i>	221
ANÁLISIS DE IMPACTOS AMBIENTALES Y ESTABLECIMIENTO DE MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTORAS EN PROYECTOS DE APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS REVERSIBLES <i>Sánchez Arango, M.; Granero Castro, J.; Rodríguez García, J.; Villazán Peñalosa, B.</i>	230

## BLOQUE 5 OTROS

CONSECUENCIAS EN LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL POR LA AUSENCIA DE PLANIFICACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES. EL EJEMPLO DE ARAGÓN <i>Abad García, J.</i>	242
ANÁLISIS DEL PROCESO DE EVALUACIÓN DE IMPACTO DE INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE EN ESPAÑA. EL CASO DE LOS PROYECTOS DE PUERTOS EN EL PERIODO 2000-2021 <i>Rodríguez Ramírez, E.; Arce Ruiz, R.M.</i>	249
TRAMITACIÓN DE PLANES ESPECIALES DE INFRAESTRUCTURAS PARA PROYECTOS FOTOVOLTAICOS EN LA COMUNIDAD DE MADRID <i>Sobrini Sagaseta De Ilúrdoz, I.; Martín Jiménez, C.; Torre Rozalen, I.; Mora-Figueroa Lora, C.</i>	259
LA IMPORTANCIA DE LA EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA EN LA ELABORACIÓN DEL PLAN ANDALUZ DE ACCIÓN POR EL CLIMA COMO NUEVO MARCO ESTRATÉGICO PARA LA INCLUSIÓN DE LA PERSPECTIVA CLIMÁTICA EN PLANIFICACIONES, PROGRAMACIONES Y ACTUACIONES <i>Tola Pérez, I.; Álvarez Peláez, S.; Moreno Castro, C.</i>	265
ANÁLISIS DE LOS PROBLEMAS DE LA ESPAÑA VACIADA Y PROPUESTA DE ACTUACIONES DESDE LA INGENIERÍA CIVIL. CASO: ZONA BÁSICA CARBONERO EL MAYOR (SEGOVIA, CASTILLA Y LEÓN) <i>Vaca Cabrero, J.; Arce Ruiz, R.M.</i>	273

# **Presentación**

## PRESENTACIÓN

---

Del 23 al 25 de marzo de 2022 la **Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental (AEEIA)** ha organizado el **XI Congreso Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental- CONEIA 2022**, principal foro de debates y propuestas técnicas de revisión crítica del sector en España, con la asistencia de más de 300 profesionales. Esta vez la sede seleccionada para su celebración ha sido la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Extremadura y ha contado con el apoyo de todas las instituciones que tienen relación con la evaluación ambiental.

En esta ocasión el lema del congreso ha sido *“La evaluación ambiental en tiempos de cambio. Implicaciones ecosistémicas, sociales y sobre la salud global”*, y su programa se ha ido elaborando a partir de un proceso participativo abierto a todos los interesados en acudir al congreso. De este modo, se han llevado a cabo dentro del CONEIA un total de 28 sesiones, repartidas entre debates, talleres, mesas de expertos, etc. Asimismo, se han expuesto un total de 67 comunicaciones, de las cuales 24 fueron en formato póster.

En esta edición ha sido fundamental la participación y el apoyo que se ha recibido por parte del **Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico**, ya que han sido co-organizadores del CONEIA. Esto ha supuesto un gran apoyo para que este congreso pueda seguir siendo un referente nacional para todos los profesionales relacionados con la evaluación ambiental, tanto de instituciones públicas como privadas. Pero, también hay que señalar la importancia del esfuerzo, interés y ayuda que se ha recibido de muchas personas que, a título personal, han querido aunar esfuerzos para que este evento pueda seguir adelante.

## **Prólogo**

Fue en el año 1983 cuando se produjo mi primer contacto con la evaluación de impacto ambiental. Recuerdo una reunión en el despacho de Hilario Dominguez, en aquellos momentos mi subdirector general en el entonces Ministerio de Obras Públicas, en la que nos encargó hacer una serie de estudios piloto de evaluación ambiental, con el objetivo de ir rodándonos para estar preparados para lo que se pensaba que iba a llegar en un futuro próximo.

Efectivamente, ese futuro llegó en el año 1985. La Evaluación de Impacto Ambiental en España, ha tenido una serie de fechas claves que van desde ese año 1985 hasta el año 2022.

En este periodo, destacan los años 1985, Directiva 85/337, 1986 transposición al ordenamiento jurídico español, 1988 primer reglamento, 2006 planes y programas, 2008 RDL 1/2008, 2010 Ley 6/2010, 2013 Ley 21/2013 y las modificaciones establecidas en la Ley 9/2018 y RDL 36/2020. Asimismo en el año 2022, se incorporan al régimen español un nuevo procedimiento temporal para proyectos de energía renovable. En concreto el RDL 6/2022, el RDL 11/2022 y el RDL 20/2022, para agilizar plazos y facilitar el despliegue de este tipo de proyectos, ante situaciones excepcionales de crisis.

De todas ellas, 2013 destaca por ser el año en el que se produce la transposición de las diferentes Directivas y se integran en una sola norma, la EIA de proyectos y la EIA estratégica de planes. Por ello, podría considerarse un año clave para la EIA. No obstante, las de 2010 y sobre todo las posteriores de 2018 y 2022, también destacan probablemente por haberse planteado ante situaciones de crisis (economía, energética, ....) que de alguna manera han puesto en cuestión la utilidad de la EIA y la posibilidad de que este procedimiento sea un obstáculo para conseguir otros objetivos, que por diferentes motivos se está enfrentando la sociedad.

Ante esta situación, lo fácil es decir que la solución es la agilización de los trámites y que para ello la norma debe establecer básicamente plazos más cortos para el cumplimiento de los diferentes pasos del procedimiento, sobre todo en los plazos de Información Pública y consulta, o bien reducir el nivel de exigencia para algún tipo de proyecto por sus características o localización.

En esta línea van las últimas normas de la Unión Europea, como la modificación de la Directiva (EU) 2018/2001, relativa al fomento del uso de energía de fuentes renovables, conocida como Directiva Repower, y, en nuestro país, el Real Decreto Ley 6/22, de 29 de marzo, por el que se adoptan medidas urgentes en el marco del Plan Nacional de respuesta a las consecuencias económicas y sociales de la guerra de Ucrania y sus posteriores modificaciones. Pero la aplicación, sin más, de esas nuevas normas en España es prácticamente imposible dada la diversidad, cantidad y calidad de los espacios, que con diferente nivel de protección, existen en nuestro país.

Esta estrategia choca de pleno con la base fundamental de la Evaluación de Impacto Ambiental, que no es otra que la “Participación Pública”.

La Evaluación de Impacto tiene entre sus objetivos principales conseguir la compatibilidad entre las actuaciones humanas y nuestro entorno. Es decir, estamos hablando de la sostenibilidad. Siguiendo al profesor Domingo Gomez Orea, la sostenibilidad aporta sensatez y calidad al proceso de toma de decisiones, evita el reduccionismo que supone el exclusivo objetivo económico y facilita la aceptación social de las decisiones, al incorporar la participación de todos los implicados en la toma de decisiones.

La consecución de este objetivo hace que la EIA deba ser un procedimiento que necesariamente necesita tiempo para su ejecución.

Pero está claro que ese tiempo no se debe dilatar sin motivos justificados. Para conseguir ese objetivo en el menor tiempo posible, todos los actores que intervienen en la EIA deben cumplir su papel.

Los promotores y consultores especializados, deben realizar unos buenos estudios de impacto, planteando alternativas razonables, los organismos y público interesado debe participar aportando sus conocimientos e inquietudes sin sesgo de ningún tipo y las administraciones deben proporcionar los medios humanos, técnicos y presupuestarios para poder gestionar de manera ágil y adecuada el procedimiento administrativo.

La evaluación de impacto ambiental, no debe ser un procedimiento administrativo que se limite a obligar a los administrados a cumplir un trámite, que tardara más o menos tiempo, pero que no aporte ningún valor añadido a la actividad evaluada.

Por último, permitidme realizar un deseo. Después de más de treinta años de EIA en España y acercándonos a una cifra redonda, como son los 35 años, creo que es el momento de plantearse de manera seria la creación de un organismo administrativo que permita gestionar de manera adecuada, el reto al que la Evaluación se enfrenta en la actualidad.

Espero que nos veamos en el próximo congreso.

Eugenio J. Dominguez Collado  
*Subdirector General de Evaluación Ambiental.*

## **Acto de apertura**

## ACTO DE APERTURA

---

Inauguramos hoy la undécima edición del CONEIA – Congreso Nacional de Evaluación de impacto ambiental, organizado por la Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental y en esta ocasión también por el Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico. Y lo hacemos con una alegría inmensa, por todo lo que supone volver a reunirnos personalmente. La última edición presencial del CONEIA se celebró en 2017, en Zaragoza. Recordemos que la décima edición, que debía haber sido en 2019, la retrasamos un año para que coincidiera con el Congreso Mundial que organizamos en Sevilla, junto con la Asociación Internacional de Evaluación de Impactos, que iba a haber sido en 2020, después en 2021, y finalmente fue telemática. Es decir, 5 años sin vernos las caras todos juntos, más allá de una triste pantalla. 5 años en los que han pasado tantas cosas... la pandemia, con su enorme coste personal en tanta gente, tenemos una guerra a las puertas de casa, hemos tenido erupciones volcánicas, filomenas, ... fijaos si ha pasado tiempo que hasta una Liga hemos ganado los del Atleti!!! Parece una eternidad, y por eso es tan ilusionante que podamos estar todos juntos hoy aquí, para hablar de nuestras cosas. Eso es lo que mejor define el CONEIA, que una vez le oí a un asociado: una reunión de las gentes de la evaluación ambiental en la que nos juntamos sencillamente para hablar de nuestras cosas.

Y hoy vemos mucha gente nueva, sois muchos los que venís a un CONEIA por primera vez. A vosotros los nuevos os digo, y a los de siempre os recuerdo, cual es nuestro objetivo como Asociación: el desarrollo de la Evaluación Ambiental como instrumento de protección, al servicio de la sociedad.

Estaremos de acuerdo que esta pandemia nos ha cambiado a todos, de una manera u otra. En estos tiempos de cambio, de transición, desde el tiempo antes del COVID, hasta ahora con el COVID confiamos que superado, o al menos en cierto modo controlado, la evaluación ambiental ha cobrado un auge impensable hasta hace poco; y aun va a ser mayor cuando terminemos de incluir los aspectos sociales y sobre la salud pública, con la consistencia con la que ya consideramos los factores estrictamente ambientales, entendiendo como tales los tradicionales: agua, suelos, vegetación, fauna, paisaje...

A las gentes de la evaluación ambiental, como nos he denominado antes, todo esto nos exige cada vez más compromiso, más dedicación, más esfuerzo y permitidme que lo diga, también más pasión por lo que hacemos. Tenemos que ser conscientes de lo que somos: la gente que saca adelante los expedientes de evaluación ambiental; conscientes de lo que tenemos entre manos: la responsabilidad de que esos expedientes sean de verdad útiles para la sociedad, y eso incluye por supuesto, el medio ambiente que disfruta o que sufre, según el caso, esa sociedad a la que servimos.

Este auge al que me refería se ha traducido en un aumento del número de expedientes en tramitación como nunca antes se había producido en España, a todos los niveles: central, autonómico o foral, e incluso municipal.

¿Debemos interpretarlo como un éxito? Yo creo que sí

¿Cómo un reto? ¡Sin duda!

¿Cómo un peligro? Pues puede llegar a serlo, si no somos capaces de sacarlo adelante con unas mínimas garantías de eficacia.

Quizá debamos replantearnos si por evaluar mucho estamos perdiendo el foco de lo que se debe evaluar, y lo realmente importante, en términos de lo que en la práctica es capaz de producir impactos significativos, se evalúa de manera satisfactoria o no.

Si hacemos el ejercicio de extrapolar a la evaluación ambiental los principios de la responsabilidad social corporativa, sin los cuales ahora no se entendería ninguna compañía o corporación que se precie de ser bien gestionada, podríamos preguntarnos ¿Cuál es nuestra misión, nuestra visión, nuestros valores? Precisamente nosotros, que tratamos a diario con el análisis de impactos, deberíamos perseguir ser una comunidad de personas que tienen impacto en la sociedad, un impacto significativo, perdurable, a ser posible global, aunque podría bastarnos si solo fuera puntual o local. Por supuesto me refiero a un impacto positivo; porque no perdamos de vista que nuestro impacto podría llegar a ser negativo, incluso irreversible o irrecuperable, si hacemos mal nuestro trabajo y eso sería un drama que no podemos permitirnos ¡por eso decía que tenemos que ponerle pasión a nuestro trabajo!

Podemos también simplemente correr el riesgo de ser irrelevantes, si la evaluación ambiental se convierte en un mero trámite. En ese caso, el resultado de caer en esa insignificancia supondría desperdiciar el potencial de esta potentísima herramienta de protección que representa la evaluación ambiental. Por eso ¡no podemos permitirnos, como colectivo, caer en la irrelevancia! Para ello tenemos que remar todos juntos, por supuesto en la misma dirección, pero también con el mismo compás. Evidentemente no todos remamos igual, y en un trabajo en equipo, multidisciplinar como es éste, o remamos todos juntos y acompasados, o el barco no avanza. Tan malo es pasarse de remada, como remar poco; en ambos casos el barco pierde el control y no llega a su destino. En un contexto como el actual en el que necesitamos sacar adelante una transición energética a la que nos obliga la crisis climática que nos acecha, o en el que tenemos unos fondos *Next Generation* que tenemos que aplicar en un plazo concreto, tan negativo sería exigir medidas imposibles, como permitir cualquier cosa. Nuestro objetivo debe ser mejorar los planes, los programas y los proyectos que caen en nuestras manos y que cuando salgan de nuestras manos, lo hagan siendo mejores planes, programas o proyectos, para el medio ambiente, y por tanto para la sociedad. Evidentemente, eso no significa aprobar cualquier cosa, porque siempre habrá casos que no admitan mejora posible que los haga viables.

Esta exigencia no nos permite caer en la rutina, no podemos acostumbrarnos a hacer lo que hacemos, tenemos que seguir siempre mejorando, aprendiendo, para que no dejemos de ser útiles a la sociedad por no saber cómo hacerlo. Eso es lo que venimos a hacer en el CONEIA: venimos a aprender, para renovar nuestra pasión por la evaluación ambiental.

Por supuesto que muchas veces caemos en el desánimo, en creer que lo que hacemos es inútil, o que no se nos hace caso con nuestras propuestas de mejora... y podemos estar cansados, claro que sí, porque llevamos años de una actividad frenética, con escenarios cambiantes, con plazos endiablados, con medios no siempre suficientes... Pero que sea un cansancio sano. El día que no estemos sanamente cansados, es que algo no estamos haciendo bien; será signo de que no estamos dando todo lo que somos capaces de dar.

Entrando en el capítulo de agradecimientos, el primero es para Ana Vazquez, que con su dedicación más allá de lo exigible es quien saca adelante el CONEIA. Gracias Ana.

Gracias a Jovita Garcia y a Santiago Hernandez, delegados territoriales de la Asociación en Extremadura, que dieron el paso delante de proponer Cáceres como sede del CONEIA y han participado activamente en el Comité Organizador. Gracias a todo el Comité Organizador y el Comité Científico, que de forma desinteresada le han echado muchas horas quitándosela a su trabajo y a su familia, de manera especial a Manuel Diaz y a Jorge Abad, que los han capitaneado.

Y por supuesto gracias de todo corazón a los que habéis confiado en la Asociación y nos habéis apoyado desde las instituciones en la organización del CONEIA:

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Gracias Director, y gracias Subdirector Eugenio Dominguez;

Junta de Extremadura, gracias consejera, y gracias Angel Sánchez;

Ayuntamiento de Cáceres, gracias concejal;

Universidad de Extremadura, gracias vicerrector, y gracias muy especialmente a José Luis Oncins, decano de la Facultad de Filosofía y Letras que nos acoge, y a Julian Mora, profesor de esta casa, que se ha implicado especialmente.

Y gracias a nuestros patrocinadores, sin los cuales todo esto no sería posible:

Red Eléctrica de España, ENDESA, Iberdrola, Fundación Tatiana Pérez de Guzmán el Bueno, ACCIONA, Comunidad de Madrid, Generalitat de Cataluña, TRAGSA, X-Elio, EDP Renovables, Naturgy, CEDEX, Diputación de Cáceres, Ingenostrum y Capital Energy.

Para terminar, acabo dándoos las gracias a toda la gente de la evaluación ambiental, representada hoy aquí por todos vosotros, por vuestra dedicación, por vuestro trabajo, por vuestro cansancio superado, que al final se traduce en resultados, en forma de planes, programas y proyectos mejorados. Gracias

por hacer el esfuerzo de acompañarnos estos días, porque al final sois los que dais sentido a todo el trabajo que supone sacar adelante el CONEIA. Os animo a aprovecharlo al máximo, y eso pasa por participar activamente en todas las sesiones, de forma proactiva y bidireccional, aprendiendo de los demás y compartiendo vuestros conocimientos y experiencias para que los demás puedan también aprender de vosotros.

Muchas gracias.

Íñigo Sobrini Sagaseta de Ilurdoz  
*Presidente de la AEEIA*

## **ACTO DE CLAUSURA - CONCLUSIONES**

---

- La calidad de los estudios de impacto ambiental ha mejorado sustancialmente en los últimos años y por lo general son satisfactorios, si bien todavía hay casos de documentación deficiente.
- Es necesario mejorar los indicadores de calidad ambiental para mejor evaluar los impactos, sistematizándolos.
- Es prioritario seguir velando por la protección de la biodiversidad, compatibilizándola con el desarrollo de las renovables.
- La Administración necesita recursos, normativa y procesos claros, y total apoyo del conjunto de los agentes implicados.
- La conservación de la biodiversidad es un reto prioritario en la evaluación ambiental de los proyectos, planes y programas.
- Es importante disponer de una política honesta complementaria y enriquecedora de dimensión social y que anteponga los intereses de los ciudadanos y del medio ambiente.
- Es preciso garantizar un mayor nivel de participación y acceso a la información, lo que mejora los resultados de la evaluación ambiental, facilitando la comunicación y disminuyendo la conflictividad.
- Los planteamientos de tipo ético deben formar parte activa a la hora de tomar decisiones en todos los niveles de la actuación ambiental.
- Las guías sobre la valoración del cambio climático y las herramientas de cálculo de huella de carbono son útiles para la introducción de criterios básicos de mitigación y adaptación desde el origen de la planificación a través de la EAE.
- La planificación es una buena herramienta para establecer el alcance de la EIA, pero es un proceso muy lento.
- La cuantificación de los efectos sinérgicos y acumulativos requieren de metodologías concretas y la determinación de umbrales. Es imprescindible evitar el fraccionamiento de proyectos.
- La evaluación ambiental estratégica es un instrumento esencial para introducir el cambio climático en la planificación.
- Los datos de las vigilancias ambientales resultan básicos para vehicular una investigación aplicada necesaria, que permita mejorar las herramientas para predecir impactos ambientales.
- Las nuevas tecnologías y la I+D nos permiten desarrollar entornos digitales, softwares específicos o técnicas moleculares que deben contribuir a mejorar el procedimiento de EIA, facilitando la interpretación de los datos y toma de decisiones.
- La salud engloba un concepto integral, transversal y multisectorial de aspectos biológicos, sociales y ambientales.
- La integración entre salud y medio ambiente es prioritaria en las evaluaciones de impacto, que deben priorizar la equidad, la participación pública efectiva, el acceso a los datos de vigilancia y la identificación de grupos vulnerables.

**BLOQUE 1**  
**Actualización del Marco Normativo**

## LA EVALUACION ADECUADA DE LA RED NATURA 2000: ¿HEMOS PROGRESADO?

Diez de Revenga Martínez, Emilio  
AMBIENTAL S.L. [emilio.diezderevenga@ambiental-sl.es](mailto:emilio.diezderevenga@ambiental-sl.es)

**Palabras clave:** Evaluación adecuada; Red Natura 2000; evaluación de impacto ambiental; evaluación ambiental estratégica.

### Resumen:

Desde 2013, la “Evaluación Adecuada” de repercusiones sobre la Red Natura 2000 sólo puede incardinarse en España dentro de los procedimientos para planes y proyectos (en los cuales nos centraremos) de la Ley estatal 21/2013, de 9 de diciembre, de Evaluación Ambiental, tanto para su fase de cribado o previa (evaluación de impacto ambiental simplificada) como para la evaluación adecuada “completa” propiamente dicha (evaluación de impacto ambiental ordinaria). ¿Funciona este sistema legal?. Hay señales de que no, debido probablemente en gran medida a la larga tramitación de la evaluación de impacto ambiental, sobre todo en su modalidad simplificada, ya la naturaleza y dimensión de muchos de los proyectos concernidos por esta obligación. Un primer indicio del éxito relativo de este planteamiento es la aparición de normas autonómicas que, al amparo del procedimiento establecido en 2018 para determinar la susceptibilidad de causar efectos adversos apreciables sobre un espacio Red Natura 2000, están creando en realidad un sistema de evaluaciones alternativas sin las debidas garantías de transparencia, participación, motivación y contradicción, como parte de un fenómeno creciente de “fuga de la evaluación ambiental”.

### Introducción:

Los Estados Miembros de la Unión Europea tienen la obligación (1) de someter a una “adecuada evaluación” de sus repercusiones en un lugar de la Red Natura 2000 cualquier plan o proyecto que, sin tener relación directa con la gestión del lugar o sin ser necesario para la misma, pueda afectar de forma apreciable a los citados lugares. Pero... ¿cómo determinar que un plan o proyecto no alcanza siquiera el potencial de afectar de forma apreciable?. La norma española determina sucintamente el procedimiento administrativo (2), pero nada señala respecto a la metodología de valoración. ¿Funciona este sistema legal?.

### Material y Métodos:

Se ha revisado en términos comparativos la Directiva 92/43/CEE (Hábitats), la Ley 21/2013, de 9 de diciembre (Evaluación Ambiental), y la Disposición adicional decimoquinta (*Informe de repercusiones en la Red Natura 2000 de la Región de Murcia*) de la Ley 4/2009, de 14 de mayo, de protección ambiental integrada.

## Resultados:

Hay señales de que el encaje entre la “evaluación adecuada” y la evaluación ambiental no funciona, valga la redundancia, adecuadamente, debido probablemente en gran medida a la larga tramitación de la evaluación de impacto ambiental (EIA), sobre todo en su modalidad simplificada y a las características de los proyectos de naturaleza agraria o por su pequeña dimensión, que pueden afectar a los Espacios Protegidos Red Natura 2000.

El legislador estatal introdujo mediante Ley 9/2018, de 5 de diciembre (3) dos interesantes reformas destinadas precisamente a mejorar el engarce entre la evaluación ambiental estratégica y la evaluación de impacto ambiental:

En primer lugar, para los proyectos sometidos a EIA simplificada solamente con motivo de que puedan afectar de forma apreciable, directa o indirectamente, a Espacios Protegidos Red Natura 2000 (art. 7.2.b de la Ley de evaluación ambiental -LEA-), se circunscribirá la descripción y evaluación de todos los posibles efectos significativos del proyecto en el medio ambiente (art. 45.1.e LEA), exclusivamente, en cuanto a las repercusiones en el lugar, teniendo en cuenta los objetivos de conservación del espacio Red Natura 2000, lo que a su vez al parecer limitaría las consultas al órgano competente en dicha materia, lo cual debería agilizar notablemente el trámite administrativo.

En segundo lugar, en la Disposición adicional séptima, se añade que para acreditar que un plan, programa o proyecto no es susceptible de causar efectos adversos apreciables sobre un espacio Red Natura 2000, y por tanto no se precisa realizar la evaluación ambiental (EA), el promotor podrá solicitar informe al órgano competente para la gestión de dicho espacio, en cuyo supuesto no será necesario someter el plan, programa o proyecto a evaluación ambiental. Llama la atención ya de primeras que el legislador se refiera a esta cuestión en términos negativos, es decir, de exclusión (“no es susceptible”), orientación sin duda legítima pero que puede llamar a confusión sobre la imperiosa necesidad positiva de someter a EA todo proyecto que pueda afectar de forma apreciable a los lugares Natura 2000.

Un primer indicio del éxito relativo de este planteamiento es la aparición de normas autonómicas que, al amparo del procedimiento establecido en la reforma de 2018 de la Ley 21/2013, para “determinar la susceptibilidad de causar efectos adversos apreciables sobre un espacio Red Natura 2000”, están creando en realidad un sistema paralelo de evaluaciones:

- a) sin consultas a las Administraciones afectadas y personas interesadas (incluyendo las ONG),
- b) sin resolución pública y
- c) sin posibilidad de recurso.

El verbo “poder” se refiere en este contexto a tener la capacidad o facultad de hacer determinada “cosa”. El adjetivo “susceptible” se refiere a que tiene las condiciones necesarias para que suceda o se realice aquello que se indica.

De este modo, si el proyecto “puede afectar de forma apreciable a”, se requiere una EA y por ende una EIA simplificada. Si el proyecto, en cambio, “no es susceptible de causar efectos adversos apreciables sobre...”, no es necesaria la EA ni por tanto la EIA simplificada. “puede” y “es susceptible de” parecen usarse pues con el mismo sentido y alcance. A este respecto, se ha señalado que <<“puede” ha de interpretarse en el sentido de que se aprecia que existe posibilidad de afección, o en sentido contrario: de que no se tiene la seguridad de que no va a haber afección. Es la “posibilidad” de afección la que desencadena la necesidad de realizar una adecuada evaluación de repercusiones, cuyas conclusiones otorguen un nivel de seguridad apropiado para la posterior toma de decisiones>> (4).

Pues bien, la Disposición adicional decimoquinta de la Ley 4/2009, de 14 de mayo, de protección ambiental integrada (5), desarrolla este novedoso procedimiento de exclusión de la EA con las siguientes notas características:

- a) Denominación equívoca: “Informe de repercusiones en la Red Natura 2000” o “informe de afección a Red Natura 2000”. El uso de esos términos puede inducir a confusión ya que de lo que se trata es precisamente de dilucidar si es o no necesaria una “evaluación adecuada” que identifique esas repercusiones o afecciones. De hecho, la LEA se refiere con mayor fortuna a la necesidad de que en los Estudios de Impacto Ambiental y Documentos Ambientales “se incluirá un apartado específico para la *evaluación de sus repercusiones* en el lugar” (art. 35.1.c y 45.1.e LEA).
- b) Dicha “declaración de no afección a la Red Natura 2000” se supedita a que “se cumplan los *condicionantes* que indique el propio informe [de repercusiones]”. Pero, si es necesario imponer condiciones al proyecto para llegar a la conclusión de que no es susceptible de afectar de forma apreciable, es necesariamente porque es susceptible de causarlas en ausencia de dichas condiciones, lo cual obviamente conduce al procedimiento de EA dentro de una EIA simplificada. En efecto, el Tribunal de Justicia Europeo ha dictaminado que «para determinar si es necesario proceder posteriormente a una evaluación adecuada de las repercusiones de un plan o proyecto sobre un lugar afectado, no procede, en la fase de evaluación previa, tener en cuenta las medidas encaminadas a evitar o a reducir los efectos perjudiciales de dicho plan o proyecto sobre este lugar» (asunto C-323/17).
- c) A la solicitud del informe de afección a la Red Natura 2000 se acompañará la documentación del proyecto y un *documento de evaluación de repercusiones* que, según el Proyecto en información pública (6), incluirá “Medidas preventivas, correctoras y compensatorias”, contraviniendo como se ha comentado en el apartado anterior la jurisprudencia del Tribunal Europeo y configurando un auténtico procedimiento de “evaluación adecuada” propio de, al menos, una EIA simplificada.

También el análisis crítico del Proyecto de Real Decreto por el que se modifican los Anexos I y II de la LEA (7), proporciona otros indicios del escaso éxito o fortuna en la incardinación de la EA dentro de la EIA en España:

- a) No se contempla en los supuestos de EIA la proximidad a la Red Natura como factor desencadenante de al menos una EIA simplificada. En efecto, en el Criterio general nº 1 para sometimiento a evaluación ambiental simplificada de proyectos situados por debajo de los umbrales establecidos en el Anexo II, ignora aquellos proyectos que, situados fuera

de los citados espacios protegidos (en concreto los de la Red Natura 2000), pueden afectarles indirectamente de forma significativa.

- b) Excluir *a priori* de evaluación todos aquellos tipos de proyectos que, de acuerdo con la zonificación y normativa reguladora del espacio protegido, estén en él expresamente permitidos. Que una actividad pueda estar permitida en un espacio protegido no garantiza *per se* que no pueda suponer efectos apreciables en dicho espacio.

### Discusión y Conclusiones:

Puede concebirse el procedimiento de determinación de “no susceptibilidad de causar efectos adversos apreciables sobre un espacio Red Natura 2000” como un primer cribado, previo a una EIA simplificada, que se configuraría como un cribado más intenso, previo en su caso a la EIA “ordinaria” o propiamente dicha. Para tomar decisiones en esta fase, se debe aplicar el principio de cautela de manera proporcional al proyecto y el lugar en cuestión. Cuando se trata de proyectos o planes muy pequeños, la autoridad competente puede concluir que no habrá efectos apreciables basándose incluso únicamente en la descripción del proyecto. Conforme a la aplicación del principio de cautela y para que la toma de decisiones sea transparente, debe registrarse y comunicarse (8) la conclusión de que el proyecto no sea susceptible de causar efectos adversos apreciables, así como permitir su impugnación (9).

Las dificultades burocráticas que deben afrontar las Comunidades Autónomas en cuanto a la EIA simplificada de proyectos dentro o en las proximidades de Natura 2000 conlleva el riesgo de utilizar el procedimiento de exclusión de EA y por ende de EIA sin las garantías de publicidad, transparencia, motivación y contradicción que exige imperativamente la Directiva Hábitats y el Tribunal de Justicia de Luxemburgo, en un fenómeno de “fuga de la evaluación ambiental” mediante exenciones potencialmente furtivas del procedimiento regulado con carácter básico. El excepcional y temporal procedimiento de “determinación de afección ambiental para proyectos de energías renovables” regulado en el art. 6 del Real Decreto-ley 6/2022, de 29 de marzo (10), también sin fase de información pública ni consultas (11), sería otro buen ejemplo de este preocupante fenómeno.

Recomendamos pues que los órganos competentes en Red Natura 2000 apliquen la reciente Comunicación de la Comisión Europea (12) y se aseguren que el público interesado tenga acceso a la documentación pertinente, pueda opinar previamente sobre estas exclusiones e incluso impugnarlas. Carecerán de validez los actos de autorización de proyectos que, estando incluidos en el ámbito de aplicación de la LEA, no se hayan sometido a evaluación ambiental (art. 9.2 LEA).

### Referencias/Bibliografía:

- (1) Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992. Artículo 6. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1992-81200>.
- (2) Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental. Disposición adicional séptima. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-12913&p=20220330&tn=1#daseptima>.
- (3) Ley 9/2018, de 5 de diciembre. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2018-16674#au>.

- (4) MAPAMA, 2018. Recomendaciones sobre la información necesaria para incluir una evaluación adecuada de repercusiones de proyectos sobre red natura 2000 en los documentos de evaluación de impacto ambiental de la A.G.E. Madrid.
- (5) Ley 4/2009, de 14 de mayo, de protección ambiental integrada. Disposición adicional decimoquinta. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2011-2547&p=20210622&tn=1#da-3>.
- (6) [https://transparencia.carm.es/web/transparencia/-/eval\\_reper\\_red\\_natura\\_2000](https://transparencia.carm.es/web/transparencia/-/eval_reper_red_natura_2000) Consultada el 20-5-2022.
- (7) Proyecto de Real Decreto por el que se modifican los Anexos I y II de la Ley21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/evaluacion-ambiental/IP%20MODIFICACION%20ANEXOS%20LEA.aspx>.
- (8) COMISIÓN EUROPEA (2002). Evaluación de planes y proyectos que afectan significativamente a los lugares Natura 2000. Guía metodológica sobre las disposiciones de los apartados 3 y 4 del artículo 6 de la directiva sobre hábitats 92/43/CEE. Traducción de Elisa Sainz de Murieta Zugadi, 2007.
- (9) Tribunal de Justicia Europeo de Luxemburgo. Asunto C-243/15, apartados 56 a 61.
- (10) Real Decreto-ley 6/2022. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-4972&p=20220330&tn=1#a6>.
- (11) El Gobierno exime de evaluación de impacto ambiental a grandes plantas fotovoltaicas y parques eólicos. AEEIA. [https://www.eia.es/wp-content/uploads/2022/04/20220405\\_NOTA-DE-PRENSA-RDL-6\\_2022-1.pdf](https://www.eia.es/wp-content/uploads/2022/04/20220405_NOTA-DE-PRENSA-RDL-6_2022-1.pdf).
- (12) Comunicación de la Comisión (2021/C 437/01). [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021XC1028\(02\)&from=ES](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021XC1028(02)&from=ES).

## PROYECTOS URBANÍSTICOS SOMETIDOS A EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Diez de Revenga Martínez, Emilio  
AMBIENTAL S.L. [emilio.diezderevenga@ambiental-sl.es](mailto:emilio.diezderevenga@ambiental-sl.es)

**Palabras clave:** Evaluación Impacto Ambiental; Proyectos urbanísticos; Urbanización; Suelo.

### Resumen:

La Directiva 2011/92/UE, relativa a la evaluación ambiental de proyectos (1), no incluye ningún proyecto urbanístico en el anexo I, pero si en el anexo II de proyectos sometidos a EIA “caso por caso”, dentro de los epígrafes “proyectos de infraestructura” y “turismo y actividades recreativas”. Se trata de proyectos de zonas industriales, proyectos de urbanizaciones, y urbanizaciones turísticas. Se repasa la evolución de estos supuestos en la legislación sobre evaluación ambiental, tanto europea como estatal, finalizando con una reflexión justificativa de la Evaluación de Impacto Ambiental (en adelante EIA) de las obras de urbanización y recordando que España debe cribar para decidir sobre su EIA todos los proyectos de obras de urbanización, sin excepción, al igual que se criban actualmente todos los tipos de planes urbanísticos (Evaluación Ambiental Estratégica simplificada). Los actos de aprobación de proyectos de obras de urbanización que no se hayan sometido a dicho cribado, carecen de validez, siendo pública la acción en esta materia.

### Introducción:

La Directiva 2011/92/UE incluye los siguientes proyectos en su anexo II:

- Proyectos de zonas industriales.
- Proyectos de urbanizaciones, incluida la construcción de centros comerciales y de aparcamientos.
- Urbanizaciones turísticas y complejos hoteleros fuera de las zonas urbanas, y construcciones asociadas.

¿Cómo satisface España esta obligación en sus normas de trasposición?

### Material y Métodos:

Se han revisado de forma sistemática los supuestos sobre proyectos urbanísticos o asimilables en la legislación europea y española sobre evaluación ambiental desde 1985.

### Resultados:

Se presenta a continuación la evolución histórica de estos supuestos en la legislación europea y española sobre evaluación ambiental desde 1985, destacándose las referencias a proyectos de zonas industriales:

- *Directiva del Consejo, de 27 de junio de 1985, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente (2).*

**ANEXO I. PROYECTOS CONTEMPLADOS EN EL APARTADO 1 DEL ARTÍCULO 4**

(Ningún supuesto)

**ANEXO II. PROYECTOS CONTEMPLADOS EN EL APARTADO 2 DEL ARTÍCULO 4**

10. *Proyectos de infraestructura*

a) **Trabajos de ordenación de zonas industriales**

b) *Trabajos de ordenación urbana*

11. *Otros proyectos*

a) *Pueblos de vacaciones, complejos hoteleros*

- *Directiva 2011/92/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de diciembre de 2011, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente. VIGENTE.*

**ANEXO I. PROYECTOS CONTEMPLADOS EN EL APARTADO 1 DEL ARTÍCULO 4**

(Ningún supuesto)

**ANEXO II. PROYECTOS CONTEMPLADOS EN EL APARTADO 2 DEL ARTÍCULO 4**

10. **PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA**

a) **Proyectos de zonas industriales.**

b) **Proyectos de urbanizaciones, incluida la construcción de centros comerciales y de aparcamientos.**

12. **TURISMO Y ACTIVIDADES RECREATIVAS (...)**

c) **Urbanizaciones turísticas y complejos hoteleros fuera de las zonas urbanas, y construcciones asociadas. (...)**

e) **Parques temáticos.**

- *Real Decreto-ley 9/2000, de 6 de octubre, de modificación del Real Decreto legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental (3)*

**Anexo I. EIA (ahora llamada EIA ordinaria)**

*Grupo 10. Otros proyectos*

a) **Transformaciones de uso del suelo que impliquen eliminación de la cubierta vegetal arbustiva, cuando dichas transformaciones afecten a superficies superiores a 100 hectáreas.**

b) **Los siguientes proyectos (...) que (...) se desarrollen en zonas especialmente sensibles (...):**

4.º **Transformaciones de uso del suelo que impliquen eliminación de la cubierta vegetal, cuando dichas transformaciones afecten a superficies superiores a 10 hectáreas.**

c) **Los proyectos que (...) se desarrollen en zonas especialmente sensibles (...):**

3.º **Proyectos de urbanizaciones y complejos hoteleros fuera de las zonas urbanas y construcciones asociadas, incluida la construcción de centros comerciales y de aparcamientos.**

4.º **Pistas de esquí, remontes y teleféricos y construcciones asociadas.**

5.º **Parques temáticos.**

**Anexo II. Caso por caso (ahora llamada EIA simplificada)**

*Grupo 6. Proyectos de infraestructuras*

**a) Proyectos de zonas industriales.**

**b)** Proyectos de urbanizaciones y complejos hoteleros fuera de las zonas urbanas y construcciones asociadas, incluida la construcción de centros comerciales y de aparcamientos (proyectos no incluidos en el anexo I).

*Grupo 8. Otros proyectos (...)*

i) Parques temáticos (proyectos no incluidos en el anexo I).

- *Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyecto (4)*

**Anexo I. EIA (ahora llamada EIA ordinaria)**

*Grupo 9. Otros proyectos.*

a. Transformaciones de uso del suelo que impliquen eliminación de la cubierta vegetal arbustiva, cuando dichas transformaciones afecten a superficies superiores a 100 hectáreas.

b. Los siguientes proyectos (...) que (...) se desarrollen en zonas especialmente sensibles (...):

4. Transformaciones de uso del suelo que impliquen eliminación de la cubierta vegetal cuando dichas transformaciones afecten a superficies superiores a 10 hectáreas

c. Los proyectos que (...) se desarrollen en zonas especialmente sensibles:

5. Parques temáticos

d. Todos los proyectos incluidos en el anexo II cuando sea exigida la evaluación de impacto ambiental por la normativa autonómica

**Anexo II. Caso por caso (ahora llamada EIA simplificada)**

*Grupo 7. Proyectos de infraestructuras.*

**a. Proyectos de zonas industriales.**

**b.** Proyectos de urbanizaciones, incluida la construcción de centros comerciales y aparcamientos.

*Grupo 9. Otros proyectos (...).*

i. Parques temáticos (proyectos no incluidos en el anexo I).

(...)

m. Urbanizaciones de vacaciones y complejos hoteleros fuera de áreas urbanas y construcciones asociadas.

n. Los proyectos que no estando recogidos en el anexo I ni II cuando así lo requiera la normativa autonómica (...).

- *Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental (5). VIGENTE*

**Anexo I. EIA ordinaria (antes EIA “a secas”)**

*Grupo 9. Otros proyectos.*

a) Los siguientes proyectos cuando se desarrollen en [Espacios protegidos regulados por] Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad: (...)

10.º **Proyectos que requieran la urbanización del suelo para polígonos industriales** o usos residenciales que ocupen más de 5 ha; Construcción de centros comerciales y

aparcamientos, fuera de suelo urbanizable y que en superficie ocupen más de 1 ha; Instalaciones hoteleras en suelo no urbanizable.

(...)

12.º Parques temáticos

b) Cualquier proyecto que suponga un cambio de uso del suelo en una superficie igual o superior a 100 ha.

### **Anexo II. EIA simplificada (antes llamada “caso por caso”)**

*Grupo 7. Proyectos de infraestructuras.*

**a) Proyectos de urbanizaciones de polígonos industriales.**

**b)** Proyectos situados fuera de áreas urbanizadas de urbanizaciones, incluida la construcción de centros comerciales y aparcamientos y que en superficie ocupen más de 1 ha.

*Grupo 9. Otros proyectos*

j) Parques temáticos (proyectos no incluidos en el anexo I). (...)

l) Urbanizaciones de vacaciones e instalaciones hoteleras fuera de suelo urbanizado y construcciones asociadas.

m) Cualquier proyecto que suponga un cambio de uso del suelo en una superficie igual o superior a 50 ha.

*Grupo 10. Los siguientes proyectos cuando se desarrollen en [Espacios protegidos regulados por] Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad: (...).*

c) Cualquier proyecto no contemplado en el presente anexo II que suponga un cambio de uso del suelo en una superficie igual o superior a 10 ha.

- *Proyecto de Real Decreto por el que se modifican los Anexos I y II de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental (6).*

### **Anexo I. EIA ordinaria (antes EIA “a secas”)**

*Grupo 9. Otros proyectos.*

a) Los siguientes proyectos cuando se desarrollen en espacios protegidos [...]

(...)

13.º **Proyectos que requieran la urbanización del suelo para polígonos industriales** o usos residenciales que ocupen más de 5 ha; Construcción de centros comerciales y aparcamientos, fuera de suelo urbanizable y que en superficie ocupen más de 1 ha; Instalaciones hoteleras en suelo no urbanizable.

(...)

15.º Parques temáticos

b) Cualquier proyecto que suponga un cambio de uso del suelo en una superficie igual o superior a 100 ha

### **Anexo II. EIA simplificada (antes llamada “caso por caso”)**

*Grupo 7. Proyectos de infraestructuras.*

**a) Proyectos de zonas industriales.**

**b)** Proyectos de urbanizaciones, incluida la construcción de centros comerciales y aparcamientos.

*Grupo 9. Otros proyectos.*

k) Urbanizaciones turísticas y complejos hoteleros fuera de las zonas urbanas, y construcciones asociadas.

l) **Cualquier proyecto que suponga un cambio de uso del suelo** en una superficie igual o superior a 50 ha o igual **o superior a 10 ha** si cumple los criterios generales 1 o 2.

**Criterios generales para sometimiento a evaluación ambiental simplificada de proyectos situados por debajo de los umbrales establecidos en este anexo:** Criterio 1. Proyectos en espacios protegidos (...) Criterio 2. Proyectos solapados con elementos de infraestructura verde (...), áreas críticas de los planes (...) de especies amenazadas u otras áreas importantes para la conservación de especies en régimen de protección especial, hábitats de interés comunitario que presenten un estado de conservación desfavorable en la unidad biogeográfica (...).

### **Discusión y Conclusiones:**

Tanto los supuestos vigentes como en el Real Decreto en tramitación se limitan básicamente a reproducir con algún añadido –enrevesado y con bastante desacierto gramatical- el texto de la Directiva vigente, sin adaptación alguna a las normas sustantivas españolas en materia urbanística, lo que favorece que dichos proyectos urbanísticos con mucha frecuencia no se evalúan.

En el Real Decreto en tramitación, el supuesto " Proyectos de urbanizaciones de polígonos industriales" pasa a " Proyectos de zonas industriales", al adoptar la redacción literal de la Directiva (elimina el criterio de "urbanización", se dice, cuando eso no es un "criterio", sino una definición meramente sustantiva), lo cual dará lugar a que los Ayuntamientos con frecuencia sigan sin evaluar dichos proyectos.

La Ley 21/2013 incluye una definición de "cambio de uso del suelo", como la transformación de cualquier uso de suelo rural entre sí (...), o la transformación del uso de suelo rural en suelo urbanizable. También en esa definición se aprecian las deficiencias técnicas de la norma ambiental, ya que mezcla una "situación básica del suelo" de la norma estatal básica ("suelo rural ") con una clase de suelo ("urbanizable") según las normas legales autonómicas.

Proponemos pues una mejora de lenguaje urbanístico en las normas de EIA, sobre la base de los siguientes criterios:

- Definir los términos urbanísticos con remisión a la norma estatal básica (Texto refundido)
- Evitar términos urbanísticos de las normas autonómicas.
- Incluir los "proyectos de obras de urbanización" derivados o insertos en las "autorizaciones excepcionales por interés público".

Finalmente, ¿por qué es importante la EIA de las obras de urbanización, cuando ya ha sido aprobada e incluso evaluada ambientalmente la ordenación pormenorizada inserta en el plan de desarrollo, plan parcial o plan especial?

- Para evaluar los proyectos "complementarios" que apenas son descritos en el plan de desarrollo por situarse fuera de su ámbito: energía (línea eléctrica), depuración, etc.
- En su caso, para la comprobación de las condiciones derivadas de la evaluación del plan precedente (ya que los órganos sustantivos no lo hacen).

- En su caso, para la evaluación de las obras derivadas de planes urbanísticos no sometidos anteriormente a EAE.
- Y, sobre todo, para valorar el metabolismo urbano con relación al cambio climático global: mitigación (compensación de la huella) y adaptación. En este aspecto, puede afirmarse que la Región de Murcia es una de las comunidades más avanzadas en la EAE de planes urbanísticos (7).

En conclusión, la Comisión Europea manda un mensaje inequívoco: España debe cribar para decidir sobre su EIA (que en España llamamos “ordinaria”) todos los proyectos de obras de urbanización, sin excepción, ya sea caso por caso (que en España llamamos impropriadamente “EIA simplificada”), por tipos de proyectos (posibilidad no contemplada en la ley 21/2013), o combinando ambos métodos, al igual que se criban actualmente todos los tipos de planes urbanísticos (EAE simplificada). Los actos de aprobación de proyectos de obras de urbanización que no se hayan sometido a dicho cribado, carecen de validez (art. 9.1 LEA), pudiendo ser recurridos por ello ante los Tribunales por cualquier persona, ya que la acción es pública (art. 5.f del Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre).

### Referencias / Bibliografía:

- (1) <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1992-81200>
- (2) <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1985-80553>
- (3) <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2000-18136>
- (4) <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2008-1405>
- (5) <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-12913>
- (6) <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/evaluacion-ambiental/IP%20MODIFICACION%20ANEXOS%20LEA.aspx>
- (7) Borrador de ordenanza tipo reguladora de la integración del cambio climático en los procedimientos de autorización y gestión del planeamiento urbanístico y en la concesión de licencias de obras y de actividad.  
[https://www.carm.es/web/descarga?ARCHIVO=BorradorOrdenanza.pdf&ALIAS=ARCH&IDCONTENIDO=176753&IDTIPO=60&RASTRO=c866\\$m9665](https://www.carm.es/web/descarga?ARCHIVO=BorradorOrdenanza.pdf&ALIAS=ARCH&IDCONTENIDO=176753&IDTIPO=60&RASTRO=c866$m9665)

**BLOQUE 2**  
**Avances en Metodologías de Evaluación**

## GUÍA PARA LA INCORPORACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE INSTRUMENTOS DE ORDENACIÓN URBANÍSTICA DE ANDALUCÍA.

Tola Pérez, I.; Álvarez Peláez, S.; Pinilla López, A.B.; Extremera Llamas, N.  
Oficina Andaluza de Cambio Climático y Servicio de Prevención y Control Ambiental de la Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático (Junta de Andalucía)  
[cambioclimaticoandalucia.cagpds@juntadeandalucia.es](mailto:cambioclimaticoandalucia.cagpds@juntadeandalucia.es)  
[svpreconamb.dgcacc.cagpds@juntadeandalucia.es](mailto:svpreconamb.dgcacc.cagpds@juntadeandalucia.es)  
Sevilla

**Palabras clave:** Guía; Evaluación Ambiental; Cambio Climático; Planeamiento Urbanístico; Adaptación.

### Resumen:

La Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, a través de su Oficina Andaluza de Cambio Climático en colaboración con el Servicio de Prevención y Control Ambiental, ha elaborado una Guía que establece los criterios para la incorporación del cambio climático en los instrumentos de ordenación urbanística, a la hora de afrontar la Evaluación Ambiental Estratégica, como requisito previo a su aprobación.

En su contenido, se hace especial énfasis en el papel de la ordenación urbanística en la adaptación al cambio climático. Para ello, se pone a disposición de los municipios información oficial relevante sobre escenarios climáticos futuros, impactos, vulnerabilidad y riesgos, a partir de la cual sea posible la toma de decisiones de planificación y gestión, así como diseñar medidas de adaptación, tales como, limitaciones de determinados usos del suelo en función de los riesgos y diseño de infraestructuras más resilientes, entre otras.

En lo referente a mitigación, la Guía incluye directrices para la identificación de fuentes de emisión y para la elaboración de un inventario de gases de efecto invernadero, en referencia a las medidas contempladas en los planes, de acuerdo con lo establecido por la Herramienta para la Evaluación de la Huella de Carbono de los municipios andaluces de la Junta de Andalucía, y el Sistema Andaluz de Compensación de Emisiones.

Además, reúne criterios y directrices sobre prácticas en urbanización y edificación que se han demostrado eficaces frente a amenazas climáticas tales como olas de calor, subida del nivel del mar, avenidas e inundaciones causadas por episodios de lluvias torrenciales de mayor intensidad, etc.

La Guía define una secuencia lógica para la incorporación del cambio climático en el procedimiento de EAE en tres fases, y propone el alcance que ha de tener la evaluación ambiental de acuerdo con cada instrumento de ordenación urbanística:

- Etapa descriptiva: en la que se analiza cómo puede variar el clima en el ámbito de actuación del plan y qué zonas o sectores, de aquellos en los que el planeamiento tenga previstas intervenciones, pueden verse afectados por esa variabilidad climática. Para ello se analizan tendencias históricas y escenarios de cambio climático en el horizonte temporal de la

planificación para identificar las amenazas climáticas y priorizar los impactos potenciales sobre las áreas afectadas por el plan.

- Etapa de valoración en la que se evalúa:
  - la vulnerabilidad y el riesgo de impacto ¿Cuál es la susceptibilidad de los sectores y las áreas de intervención del plan a los efectos del cambio climático? ¿Cuál es su capacidad de respuesta y adaptación? ¿Cuál es el riesgo de impacto?
  - la huella de carbono de las actuaciones del plan
- Etapa propositiva: se definen medidas de mitigación y de adaptación, y se identifican cuáles son los mecanismos para su implementación.

La Guía se apoya en una herramienta diseñada ex profeso de soporte para la EAE, en particular de los Planes Generales de Ordenación Municipal, según la Ley 7/2021, de 1 de diciembre, de impulso para la sostenibilidad del territorio de Andalucía (LISTA), en la que se refuerza la perspectiva de la adaptación.

Esta Guía se encuentra publicada en el Portal Andaluz de Cambio Climático, disponible libre y gratuitamente para su consulta y descarga. <sup>(1)</sup>

### **Introducción:**

La Evaluación Ambiental Estratégica (EAE), es el procedimiento administrativo e instrumental que acompaña a la aprobación y adopción de planes y programas, a través del cual se evalúa el cumplimiento de la normativa ambiental, se analizan sus posibles efectos significativos sobre el medio ambiente y se definen medidas de corrección y mitigación. En este contexto la EAE se concibe como un mecanismo válido para garantizar el cumplimiento de la legislación ambiental y en particular de cambio climático en el planeamiento urbanístico.

El desarrollo urbanístico regional, plasmado en los futuros instrumentos de ordenación urbanística, debe contribuir a alcanzar los objetivos de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero así como a aumentar la capacidad de resiliencia al cambio climático de los asentamientos humanos.

Estas cuestiones deben estar reflejadas en la documentación inicial de aquellos instrumentos de ordenación urbanística sometidos al procedimiento de Evaluación Ambiental Estratégica establecidos en la Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental de Andalucía (GICA), modificada por la recientemente aprobada Ley 7/2021, de 1 de diciembre, de impulso para la sostenibilidad del territorio de Andalucía (LISTA), y serán valorados en el marco del mismo.

### **Material y Métodos:**

El marco analítico propuesto en esta Guía para la consideración de la adaptación al cambio climático en la escala local, es el expuesto en la “Guía para la elaboración de planes locales de adaptación al cambio climático”<sup>(2)</sup>. Ésta a su vez se basa en el enfoque propuesto en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC sobre Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad <sup>(3)</sup> para el análisis de la vulnerabilidad y el riesgo del cambio climático.

La propuesta metodológica de esta Guía para la consideración del cambio climático en la EAE del planeamiento urbanístico es que la vulnerabilidad y la evaluación del riesgo se desarrollen en relación con el desarrollo del planeamiento urbanístico, valorando distintos indicadores de índole socioeconómica, espacial y física y su proyección hacia el futuro dependiendo de la ordenación urbanística que se vaya estableciendo.

### Resultados:

Los recursos principales que esta guía aporta para la consecución de los objetivos que se propone son:

- **Árbol de decisión.** Considerando la correlación entre la propuesta de la secuencia lógica en 3 etapas (Descriptiva, Valorativa y Propositiva), con lo exigido en el artículo 38.1 y 39.1 de la Ley GICA consolidada con la modificación que incorpora la Ley 8/2018.
- **Tablas de contenidos por Instrumento de ordenación Urbanística (IOU), antes instrumentos de planificación Urbanística (IPU).** La guía muestra una propuesta de alcance de la EAE de acuerdo con los distintos instrumentos de planeamiento sometidos a este procedimiento, que ha de servir de orientación y guía de contenidos mínimos de los EsAE que acompañarán la aprobación de dichos instrumentos, sin perjuicio que puedan ser ampliados en vista de la disponibilidad de recursos e información previa en cada caso.
- **Herramienta de gestión del proceso.** La Guía se apoya en una herramienta de soporte para la EAE, en particular de los Planes Generales de Ordenación Municipal, en la que se refuerza la perspectiva de la adaptación.

### Discusión y Conclusiones:

La tendencia hoy es la coordinación de esfuerzos para una lucha más eficiente y la integración de la adaptación y la mitigación con políticas públicas más maduras como son la planificación territorial y urbanística, por su clara vocación de articular en cada territorio el despliegue coordinado de otras políticas sectoriales y la actuación de agentes privados para avanzar hacia un modelo territorial adaptado y resiliente. Con esta perspectiva, la Estrategia de Adaptación de la Unión Europea (UE, 2013), reconoce a la ordenación territorial y la planificación urbanística como el marco más apropiado en el que debe inscribirse la resiliencia climática.

A través de esta guía, por tanto se ofrece una visión estratégica con respecto al impacto del cambio climático en el planeamiento urbanístico, permitiendo al interesado a través de las herramientas facilitadas navegar por toda la secuencia metodológica fase a fase, así como llevar un registro sistemático de la información generada de cara a la determinación de cuales son las necesidades de adaptación y por tanto para la definición/descripción de medidas de adaptación (y mitigación) que han de acompañar la aprobación del EsEA. Asimismo la Guía ofrece ejemplos de opciones de adaptación y mecanismos de incorporación en distintos instrumentos.

**Referencias / Bibliografía:**

- (1) <https://lajunta.es/3mkki>
- (2) Feliu, E., García, G., Gutiérrez, L., Abajo, B., Mendizabal, M., Tapia, C., Alonso, A. 2015. *Guía para la elaboración de Planes Locales de Adaptación al Cambio Climático*. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid.100pag.
- (3) IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.

**Pies de Figuras y Tablas:**

- *Proceso de adaptación al cambio climático a escala local.*



- Propuesta de secuencia lógica para la consideración del cambio climático en la EAE de instrumentos de planificación urbana en Andalucía.



## EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES BASADA EN LA SOSTENIBILIDAD RELACIONADA CON LA ALERGENICIDAD Y LA INFRAESTRUCTURA VERDE URBANA EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN.

Fernández Rodríguez, S<sup>1</sup>; Fernández Alvarado, JF<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Universidad de Extremadura, [santiferro@unex.es](mailto:santiferro@unex.es) Cáceres (España)

<sup>2</sup>Universidad de Extremadura, [jofernandeza@unex.es](mailto:jofernandeza@unex.es) Cáceres (España)

**Palabras clave:** Infraestructura verde urbana; Alergenicidad; Sostenibilidad; Construcción; Diseño.

### Resumen:

En la actualidad es apropiado estudiar la calidad del aire de las áreas urbanas para mejorar la sostenibilidad relacionada con la alergenidad así como la salud de sus habitantes. El objetivo es desarrollar una metodología para representar la alergenidad mediante la aplicación del índice de alergenidad (IUGZA) en entornos urbanos produciendo mapas en tres dimensiones. El estudio se basa en un inventario de infraestructura verde urbana con información obtenida mediante trabajo de campo y a partir de imágenes precisas de la realidad como ortofotos y nubes de puntos LiDAR con las que se elaboran mapas 3D. Los datos del inventario se almacenaron y georreferenciaron en un modelo de Sistema de Información Geográfica (GIS) que también se utilizó para extraer información geométrica para el cálculo del índice IUGZA. Los resultados de la alergenidad de la aplicación del índice se representan en el modelo GIS y se exportan al sistema de mapas de Google Earth. La metodología desarrollada se ha aplicado en el parque de la margen derecha del río Guadiana en Badajoz (España) (25 ha de superficie). Se obtuvo un valor IUGZA de 0,093 mediante el cálculo del índice de inventario y de 0,063 mediante el método de cálculo desarrollado por GIS. Además, se realizaron dos simulaciones de reducción de exposición recalculando los valores IUGZA con resultados exitosos. Los resultados muestran una forma eficaz de representar la potencial alergenidad en mapas 3D como diseño para reducir la exposición a la infraestructura verde urbana y crear un entorno más saludable en la ingeniería de la construcción.

### Introducción:

Se necesita una mejor comprensión de la cuantificación de la alergenidad en medios urbanos para administrar y crear entornos sostenibles a escala local que limiten la exposición al polen de los humanos (1). El valor del potencial alérgico (VPA) del polen emitido por la vegetación urbana requerirá mayor atención en un futuro próximo por su alto impacto en la calidad del aire y la salud de los ciudadanos (2). La eliminación preventiva de las principales especies de árboles alérgicos no puede contrarrestar suficientemente los riesgos de alergia causados por otras especies que se ven amplificadas por el cambio ambiental. Por lo tanto, es importante la selección cuidadosa de especies de árboles en la política y planificación de espacios verdes urbanos (3).

Se han detectado fuertes variaciones en los riesgos de alergenidad urbana debido al escaso conocimiento del potencial alérgico del polen de los árboles (4) con diferentes contribuciones de cada elemento de la infraestructura verde urbana al índice de alergenidad potencial de zonas

verdes urbana (IUGZA) (5,6). IUGZA es un índice cuantitativo para estimar la alergenicidad de especies arbóreas en espacios verdes urbanos considerando diferentes parámetros intrínsecos dependiendo de la especie arbórea, como el potencial alergénico, los métodos de polinización, la duración del período de polinización, el tamaño del árbol y el número de individuos por especies. Se han analizado otros factores como la superficie que ocupa cada árbol para calcular el porcentaje global de cobertura de cada especie alergénica (6). El inventario de polen alergénico también se ha utilizado para el diseño saludable de los espacios verdes urbanos del futuro (7, 8) y para establecer la evaluación de impacto ambiental de los gases aerotransportados (9). La reciente actualización del Potencial de Alergenicidad de 150 especies de bosques urbanos mediterráneos se ha convertido en una herramienta útil para la gestión y planificación urbanística de las zonas verdes, así como una medida de mitigación del riesgo para las personas afectadas por los alérgenos del polen (10). También se han indicado otros efectos asociados con la infraestructura verde urbana de árboles, jardines y senderos naturales sobre el índice de calor y la salud infantil (11).

Por otra parte, existe un interés reciente en la línea de investigación basada en la propuesta de alternativas relacionadas con los impactos urbanos. Hay estudios como métodos de decisión multicriterio para la gestión sostenible de cursos de agua en áreas urbanas (12) centrados en el bio-monitoreo como una solución basada en la naturaleza para evaluar la contaminación atmosférica y los impactos en la salud pública, así como para evaluar la alergenicidad en parques urbanos como soluciones basadas en la naturaleza para reducir el impacto en la salud pública.

El objetivo principal del estudio es evaluar el índice de alergenicidad potencial (IUGZA) de un parque urbano actual para producir un modelo 3D que permita proponer alternativas de diseño con un menor valor de alergenicidad, siendo escalable a otros entornos urbanos de ciudades inteligentes.

### Material y Métodos:

La metodología propuesta para determinar la exposición potencial a partículas alergénicas de la infraestructura verde urbana consiste en una aplicación novedosa del índice IUGZA utilizando GIS como método de cálculo para desarrollar mapas 3D. La metodología propone dividir el área de estudio en celdas cuadradas de 20 x 20 m en las que se aplica la fórmula de cálculo IUGZA. Se realiza una representación mediante *kriging* de los niveles de exposición medidos por IUGZA en el centro geométrico de cada cuadrado con lo que se obtiene un mapa general de exposición 3D del área estudiada en *Google Earth*. El objetivo de la evaluación de la exposición potencial a la infraestructura verde urbana es proponer acciones correctivas para reducir la exposición en aquellas zonas de valores altos de IUGZA. Este índice se desarrolló para estimar la alergenicidad potencial de un conjunto de especímenes en una zona verde urbana (6). El índice considera tanto las características geométricas de los especímenes y propiedades biológicas, como la superficie de la zona verde urbana donde se aplica. El índice IUGZA ha sido actualizado en varios estudios previos, siendo la versión más reciente (13) la aplicada en nuestro estudio,

$$I_{UGZA} = \frac{1}{\max VPA \cdot ST} \sum_{i=1}^K n_i \cdot ap_i \cdot ep_i \cdot ppp_i \cdot S_i \cdot H_i \quad (1)$$

donde ST = superficie de aplicación en m<sup>2</sup>, K = número de especies, ni = número de individuos pertenecientes a la i-ésima especie, api = 0, 1, 2, 3, o excepcionalmente 4 para los principales

alérgenos locales (potencial alergénico de la *i*-ésima especie),  $pei = 1, 2, 3$  (emisiones de polen de la *i*-ésima especie en granos de polen/m<sup>3</sup> de aire),  $pppi = 1, 2, 3$  (duración del período de polinización principal de la *i*-ésima especie en semanas),  $VPA = api \times pei \times pppi$  (valor de alergenicidad potencial para cada especie),  $Si = \text{área ocupada por cada espécimen}$ ,  $Hi = \text{altura de cada espécimen}$ . Para este caso de estudio, se aplicó la última base de datos de VPA (10) a 150 árboles mediterráneos ornamentales utilizados en entornos urbanos. Los valores IUGZA de la aplicación del índice se normalizaron a un número representativo desde un valor mínimo de cero (para zonas no expuestas) hasta un valor máximo de uno (para zonas con exposición máxima), donde IUGZA toma los valores máximos posibles para los factores y parámetros medidos (6).

Área de estudio. El área de estudio fue la margen derecha del parque del río Guadiana (38°52'55,0" N, 6°58'55,7" O), la mayor zona verde urbana de Badajoz (España). Tiene una extensión de 25 ha con 70 especies diferentes de árboles urbanos ornamentales. La información disponible sobre la zona verde urbana utilizada en este trabajo es una nube de puntos LiDAR de toda la zona verde urbana, y una ortofoto de la zona de estudio del Instituto Geográfico Nacional (IGN) de España. Las imágenes LiDAR se obtuvieron escaneando la superficie con un dispositivo de mapeo móvil (IP-S3 HD1, Topcon Positioning Systems, Inc., EE. UU.) para obtener una nube de puntos de alta definición georreferenciada en la Proyección Universal de Mercator (UTM) con el Sistema de Referencia Terrestre Europeo 1989 (ETRS89), zona 29N.

Inventario de infraestructura verde. Como primer paso para desarrollar este estudio se realizó un inventario de elementos de infraestructura verde urbana en la zona de estudio, utilizando guías botánicas (14). Las coordenadas de la posición de los especímenes de la infraestructura verde urbana se obtuvieron utilizando en campo un dispositivo GPS. Los puntos medidos se guardaron en un archivo con formato KML de Google Earth. En el inventario de infraestructura verde también se identificó la especie de cada ejemplar registrado. Esta información (con un código de identificación para cada elemento de la infraestructura urbana) se registró en una tabla interoperable con formato KML. El siguiente paso para completar el inventario de infraestructura verde fue obtener las dimensiones geométricas de los especímenes estudiados. Para ello, se utilizaron herramientas de ingeniería y mapeo. La superficie de la copa del árbol de cada espécimen se registró midiendo el área (metros cuadrados) de proyección de la copa sobre la imagen de la ortofoto usando el software ArcMap GIS. Además, la altura de los especímenes se registró midiendo la dimensión de cada espécimen de la nube de puntos LiDAR usando el software *Autodesk Recap*. Así, se obtuvo un inventario con dimensiones casi reales de los especímenes.

Cálculo de IUGZA con GIS. La principal innovación de nuestro estudio es la representación cartográfica del índice IUGZA y la metodología desarrollada para lograrlo mediante el uso de un modelo GIS que contiene toda la información de la zona de estudio. El modelo GIS contiene información paramétrica en representaciones geométricas de elementos. Esta ventaja se aprovecha para recopilar todos los datos de infraestructura verde del inventario en un solo modelo y calcular el índice IUGZA mediante la obtención de información geométrica de la zona de estudio. El primer paso en el entorno GIS fue cargar ortofotos e importar ubicaciones y datos de especímenes usando el software *ArcMap GIS*. El siguiente paso fue introducir las dimensiones geométricas medidas de los especímenes en el modelo. Para aplicar el índice IUGZA, son necesarias las propiedades biológicas de las especies, como los parámetros para VPA. Los parámetros de potencial alergénico (*ap*), emisión de polen (*pe*) y duración del período principal de polinización (*ppp*) se obtuvieron de

un estudio previo (10), siendo introducidos en el modelo GIS para cada elemento de la infraestructura verde.

La información paramétrica de cada espécimen se exportó a *Excel*, que se utilizó para calcular la exposición potencial mediante IUGZA. El índice IUGZA se calculó en cada punto central de los cuadrados (centroide) de 20 m x 20 m en los que se dividió el área de estudio. Las celdas cuadradas se nombraron con letras alfabéticas para cada columna y números para cada fila. Para ello, es necesario exportar a *Excel* las ubicaciones geométricas de los puntos. Además, es necesario identificar los especímenes ubicados dentro de cada cuadrado utilizando las propiedades de GIS en *ArcMap*. Con toda la información mencionada en una sola hoja de cálculo de *Excel*, se calculó el índice IUGZA para cada celda del área de estudio, obteniendo un valor para el centroide de cada cuadrado. Los valores absolutos de IUGZA luego se normalizaron entre 0 y 1.

Mapeo del riesgo ambiental. El riesgo ambiental de exposición a partículas alergénicas de la infraestructura verde urbana se calculó aplicando el índice IUGZA (normalizado entre 0 y 1). De la hoja de cálculo de *Excel* se obtuvo una tabla con las coordenadas de los centroides de los cuadrados de división y los valores IUGZA normalizados correspondientes. En GIS se produjeron diferentes mapas de exposición del área de estudio y se exportaron a formato KML para visualizarlos en el motor de mapas de *Google Earth*.

Caso de estudio de reducción de la exposición a la infraestructura verde urbana. El área central del margen derecho del Parque del Río Guadiana en Badajoz (España) fue seleccionada para un caso de reducción a la exposición a la infraestructura verde urbana. La zona central del parque cerca del Puente de la Universidad ha sido seleccionada para esta aplicación debido a la existencia de grandes zonas de alergenicidad moderada y alta. Se han estudiado dos modelos para reducir la alergenicidad de la zona: el primero, talando 20 ejemplares de la zona más afectada, y el segundo, replantando ejemplares con un valor de alergenicidad potencial (VPA) más bajo.

Caso de estudio de reducción de la exposición 1: reducción de especímenes. Para el primer caso de estudio se redujo la exposición a la infraestructura verde urbana en la zona central del parque estudiado mediante la eliminación de 20 ejemplares del modelo, simulando un trabajo de tala. El objetivo era reducir la exposición en celdas donde los valores de IUGZA eran superiores a 0,2 (celdas de exposición moderada y alta). Se seleccionaron un total de 11 celdas en la zona central del parque para reducir la exposición. En cada uno de ellos se han eliminado del modelo GIS de 1 a 3 ejemplares con valores altos de VPA. Se realizó un recálculo con las novedades introducidas en el modelo, produciéndose nuevos mapas 2D y 3D.

Caso de estudio de reducción de la exposición 2: replantación de especímenes. El segundo caso de estudio de reducción de la exposición fue modificar el parámetro VPA de 19 especímenes, siendo eliminado un espécimen. El parámetro VPA de los especímenes se ha reducido a 4 para especímenes seleccionados, simulando un proceso de replantación en el que los árboles han sido reemplazados por otras especies no alergénicas y un espécimen ha sido eliminado del modelo de estudio. Se han modificado 11 celdas en el proceso de recálculo y se han elaborado nuevos mapas de la zona de estudio.

**Resultados:**

*Inventario ambiental.* El primer resultado del estudio desarrollado es un inventario de la infraestructura verde existente en las 25 hectáreas del parque estudiado. Este resultado es también un insumo de información necesario para continuar con la metodología de cálculo y mapeo del índice IUGZA. En nuestro caso de estudio, existen 1749 ejemplares de infraestructura verde inventariados (a nivel de especie) y georreferenciados (ETRS89 Zona 29) la ubicación, altura, superficie de la copa e información biológica de los mismos (parámetros VPA, api, pei y pppi) (Tabla S1). En nuestro caso de estudio existen 70 especies diferentes de árboles, siendo las más representativas *Celtis australis* (206 ejemplares), *Liquidambar styraciflua* (188) *Morus alba* (139), *Koelreuteria paniculata* (109), *Washingtonia robusta* (106), *Schinus mole* (98) y *Elaeagnus angustifolia* (91).

*Valores de IUGZA.* El cálculo del índice IUGZA por celdas se ha realizado mediante una división necesaria de la zona de estudio que se ha realizado para mapear niveles 3D del índice por colores según los niveles de alergenicidad. Sin embargo, el valor IUGZA del parque también ha sido calculado por el método tradicional de aplicar el cálculo a toda la extensión de la zona de estudio. Para el parque estudiado se ha obtenido un valor IUGZA de 0,093, aplicando el índice a la información del inventario de ejemplares. El valor obtenido por IUGZA representa una zona de baja alergenicidad según los valores propuestos. El valor IUGZA promedio de las 752 celdas de 20 por 20 metros de la zona de estudio fue de 0,063 (valores normalizados). El valor máximo de IUGZA obtenido en una celda fue de 2,881 (antes de la normalización), resultando 0,576 después de la normalización de 0 a 1. 752 han sido las celdas medidas, resultando 720 celdas (95,74%) con baja alergenicidad (valores de IUGZA inferiores a 0,2), 19 celdas (2,53%) tienen una alergenicidad moderada (valores IUGZA entre 0,2 y 0,3) y 13 celdas (1,73%) tienen un alto riesgo de alergenicidad (valores IUGZA superiores a 0,3). En la zona de estudio hay 277 celdas (36,84%) con alergenicidad nula (valor IUGZA de 0).

*Mapa de exposición.* El mapa de exposición mediante kriging (Figura 1b y figura 1c) representa la exposición IUGZA de una manera más precisa mediante la obtención de valores en los centros de las celdas cuadradas en que se ha dividido la zona de estudio y mediante la interpolación entre valores de puntos medidos cercanos. Se puede observar que la mayor parte de la zona de estudio está cubierta por tonos verdes (Figura 1b). Se puede notar que las áreas de tonos amarillos son más grandes que en la representación del mapa de celdas, debido a la interpolación entre valores cercanos. Además, las celdas aisladas de tonos anaranjados en los mapas de celdas cuadradas se suavizan mediante el método de interpolación kriging, lo que da como resultado zonas de tonos amarillos. En general, la zona oeste del parque es un área no expuesta. En la zona centro-oeste hay áreas con valores IUGZA de alergenicidad moderada a alta. La zona central del parque (alrededor del Puente de la Universidad) es la zona con mayor potencial alergénico debido a la acumulación de zonas de tonos anaranjados y rojos. Al este de la zona central existe un área no expuesta y en el extremo este del parque existe un área de valores moderados de alergenicidad. En la Figura 1c se muestra una vista 3D detallada de esta zona.

*Caso de estudio de reducción de la exposición a la infraestructura verde urbana.*

*Caso de estudio 1: reducción de especímenes.* El primer caso estudiado de reducción de la exposición a la infraestructura verde urbana consiste en simular un proceso de tala en la zona central del parque estudiado. Se han eliminado 20 especímenes de 11 celdas en el modelo GIS. La exposición de las celdas modificadas en este caso de estudio se ha reducido de un nivel moderado y alto de alergenicidad a una baja alergenicidad. Las Figuras 2a1, 2b1 y 2c1 muestran los niveles de exposición del caso de estudio de realidad (antes de cualquier modificación sobre los especímenes). La Figura 2a2 muestra los niveles de exposición de las celdas en el área central del parque después de la reducción de la exposición. La Figura 2b2 muestra una vista general del mapa kriging de reducción de exposición y la Figura 2c2 muestra una vista 3D de la zona estudiada después de la reducción de exposición. La zona en el lado izquierdo del puente de la Universidad es el lugar donde se encontraron las celdas de mayor alergenicidad (celdas rojas y áreas rojas en el mapa Kriging) (Figura 2a2 y figura 2c2). Después de reducir el número de especímenes en el área mencionada, ninguna celda o área se representa con tonos rojos o anaranjados en los mapas. La misma situación se ha logrado en el lado este del puente. Aplicando el índice IUGZA al inventario actualizado de ejemplares de la zona de estudio se obtuvo un valor IUGZA (0,084), frente al valor de la realidad de estudio (0,093).

*Caso de estudio 2: replantación de especímenes.* El segundo caso de estudio de reducción de la exposición ha consistido en reducir el parámetro VPA de 19 ejemplares simulando un trabajo de replantación. La idea es sustituir los especímenes de alta alergenicidad por especímenes de otra especie con valores más bajos de alergenicidad potencial (VPA). El VPA de 19 especímenes se ha reducido a un VPA de 4 y se ha eliminado un espécimen en este caso de estudio. El espécimen en el que se ha simulado su tala ha sido eliminado debido a que es el único espécimen en esa celda de división del área de estudio. Las Figuras 2a3, 2b3 y 2c3 muestran los niveles de exposición después de la modificación propuesta en el caso de estudio 2. El nivel de exposición en las celdas se ha reducido a alergenicidad baja e intermedia a excepción de una celda en el lado izquierdo del puente de la Universidad que ha cambiado de intensidad de rojo a naranja (Figura 2a3). Este caso de estudio de reducción de exposición presenta una zona de alergenicidad moderada (tonos amarillos) en el lado oeste del puente de la Universidad (Figura 2c3) que no se ha producido en el caso de estudio anterior (Figura 2c2). El valor del índice IUGZA para el inventario actualizado de especímenes de este caso de estudio fue de 0,089.

### **Discusión y Conclusiones:**

Las herramientas de mapeo se han utilizado en este estudio para determinar los parámetros biométricos de la infraestructura verde urbana aplicada en la evaluación del impacto ambiental de la ingeniería de la construcción. Se han utilizado ortofotos en GIS para medir superficies de copa de árboles y nubes de puntos obtenidas mediante LiDAR para medir alturas de árboles, lo que supone un avance en la aplicación de índices de alergenicidad (como IUGZA en este estudio). La metodología para ingresar información LiDAR en el índice IUGZA se ha desarrollado por primera vez como el principal avance de nuestra investigación. El uso de estas herramientas proporciona una alta precisión para crear inventarios de infraestructura verde en entornos urbanos debido al uso de medidas capturadas directamente de la realidad. Los inventarios de infraestructura verde urbana son datos importantes para mejorar la sostenibilidad en las ciudades mediante la gestión de la información de infraestructura verde y son muy útiles en el diseño de los entornos urbanos.

Nuestro estudio introduce valores precisos de parámetros biométricos en los cálculos del índice IUGZA. Esto supone una ventaja derivada del uso de herramientas de ingeniería con aplicaciones ambientales. Un gran logro ha sido la propuesta de una metodología para crear mapas 3D donde se han representado los resultados del índice IUGZA utilizando por primera vez una rampa de color. Los mapas han sido desarrollados en un entorno GIS, lo que permite almacenar información paramétrica de la infraestructura verde e información geométrica de la zona de estudio logrando una alta precisión en la adquisición de datos y proceso de cálculo. Otra de las ventajas del uso de GIS es la posibilidad de exportar y visualizar resultados en una plataforma de acceso abierto como *Google Earth*.

La metodología propuesta supone una ayuda significativa para reducir la exposición a la infraestructura verde urbana relacionada con la alergenicidad (debido a la posibilidad de introducir cambios en la configuración del modelo e inventarios de árboles a través de GIS). Por lo tanto, es una herramienta valiosa para que los urbanistas e ingenieros diseñen zonas verdes urbanas sostenibles en la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).

#### **Agradecimientos:**

Este estudio ha sido subvencionado por la Iniciativa del Fondo Social Europeo en Empleo Juvenil (TE-0025-19) y la Consejería de Educación y Empleo de la Junta de Extremadura, y las ayudas al grupo de investigación (GR18113) han sido financiadas por la Junta de Extremadura (España) y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional.

#### **Referencias / Bibliografía:**

- (1) Nowak DJ, Ogren TL. Variations in urban forest allergy potential among cities and land uses. *Urban Forestry and Urban Greening* 2021; 63.
- (2) Cariñanos P, Marinangeli F. An updated proposal of the Potential Allergenicity of 150 ornamental Trees and shrubs in Mediterranean Cities. *Urban Forestry and Urban Greening* 2021; 63.
- (3) Aerts R, Bruffaerts N, Somers B, Demoury C, Plusquin M, Nawrot TS, et al. Tree pollen allergy risks and changes across scenarios in urban green spaces in Brussels, Belgium. *Landscape and Urban Planning* 2021; 207.
- (4) Sousa-Silva R, Smargiassi A, Kneeshaw D, Dupras J, Zinszer K, Paquette A. Strong variations in urban allergenicity riskscapes due to poor knowledge of tree pollen allergenic potential. *Scientific Reports* 2021; 11.
- (5) Cariñanos P, Casares-Porcel M, Díaz de la Guardia C, Aira MJ, Belmonte J, Boi M, et al. Assessing allergenicity in urban parks: A nature-based solution to reduce the impact on public health. *Environmental Research* 2017; 155: 219-227.
- (6) Cariñanos P, Casares-Porcel M, Quesada-Rubio JM. Estimating the allergenic potential of urban green spaces: A case-study in Granada, Spain. *Landscape and Urban Planning* 2014; 123: 134-144.
- (7) Cariñanos P, Grilo F, Pinho P, Casares-Porcel M, Branquinho C, Acil N, et al. Estimation of the allergenic potential of urban trees and urban parks: Towards the healthy design of

- urban green spaces of the future. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2019a; 16.
- (8) Pecero-Casimiro R, Fernández-Rodríguez S, Tormo-Molina R, Monroy-Colín A, Silva-Palacios I, Cortés-Pérez JP, et al. Urban aerobiological risk mapping of ornamental trees using a new index based on LiDAR and Kriging: A case study of plane trees. *Science of the Total Environment* 2019b; 693.
- (9) Fernández-Rodríguez S, Cortés-Pérez JP, Muriel PP, Tormo-Molina R, Maya-Manzano JM. Environmental impact assessment of Pinaceae airborne pollen and green infrastructure using BIM. *Automation in Construction* 2018; 96: 494–507.
- (10) Cariñanos P, Marinangeli F. An updated proposal of the Potential Allergenicity of 150 ornamental Trees and shrubs in Mediterranean Cities. *Urban Forestry and Urban Greening* 2021; 63.
- (11) Lanza K, Alcazar M, Hoelscher DM, Kohl HW, 3rd. Effects of trees, gardens, and nature trails on heat index and child health: design and methods of the Green Schoolyards Project. *BMC public health* 2021; 21: 98–98.
- (12) de Oliveira Campos PC, da Silva Rocha Paz T, Lenz L, Qiu Y, Alves CN, Simoni APR, et al. Multi-criteria decision method for sustainable watercourse management in Urban Areas. *Sustainability (Switzerland)* 2020; 12.
- (13) Sabariego S, García-Ventura C, Cariñanos P. Estimating the allergenic potential of urban green areas in the city of Madrid (Spain). *Aerobiologia* 2021.
- (14) Tormo-Molina R, Fernández-Rodríguez S, Maya-Manzano JM, Silva-Palacios I, Gonzalo-Garijo Á. *Guía Botánica del Campus de Badajoz de la Universidad de Extremadura*. Universidad de Extremadura. Servicio de Publicaciones 2016.

Figura 1. Resultados de representar el índice IUGZA por celdas (a), por kriging (b) y por kriging en una vista 3D (c) en el parque estudiado.

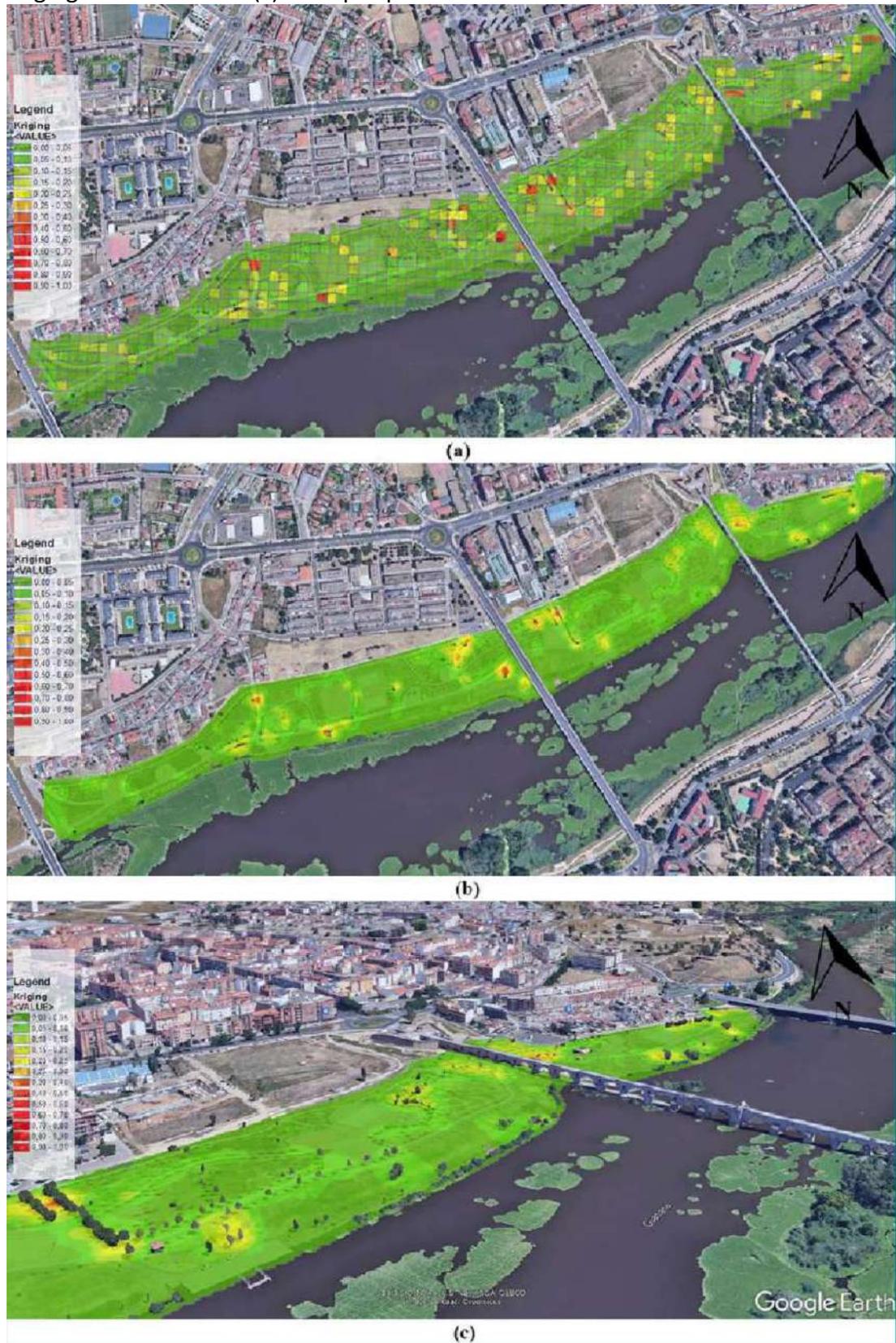
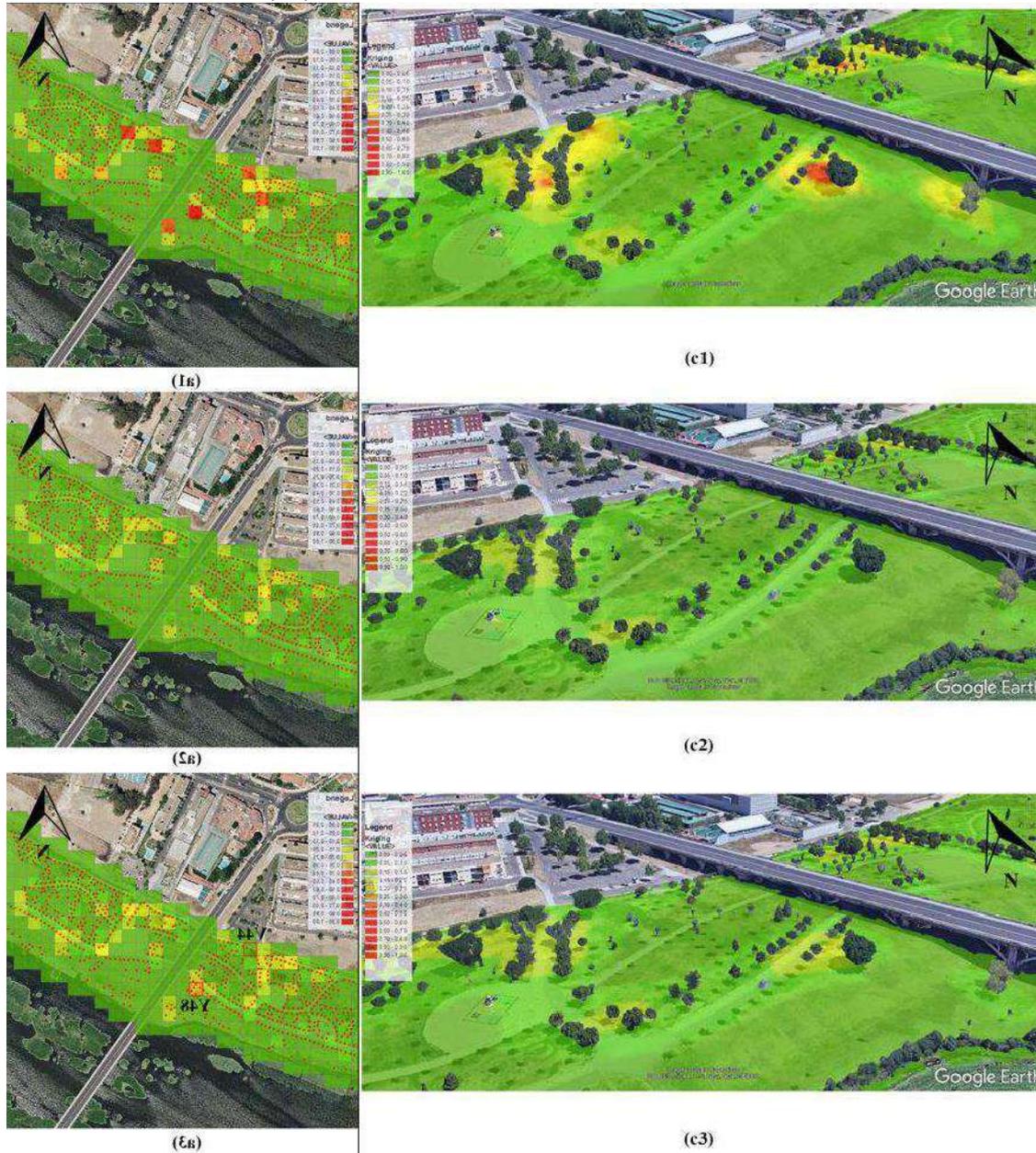


Figura 2. Resultados para el caso de estudio de realidad por celdas (a1) y en vista detallada 3D de la zona de reducción de exposición (c1). Resultados de la reducción de exposición del caso de estudio 1 por celdas (a2) y en vista detallada 3D de zona de estudio (c2). Resultados de la reducción de la exposición del caso de estudio 2 por celdas (a3) y en vista detallada 3D de la zona de estudio (c3).



## **BIOMONITOREO 2.0: TÉCNICAS DE ADN AMBIENTAL PARA LA DETERMINACIÓN DEL ESTADO ECOLÓGICO DE LOS RÍOS USANDO MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS. VENTAJAS, AVANCES Y LIMITACIONES.**

Fueyo Rodríguez, A. 1; Granero Castro, J. 1; Villazán Peñalosa, B; Escudero Marina, A. 1; Cordón Ezquerro, J. 1; Borrell Pichs, YJ. 2

1 – Taxus Medio Ambiente, info@taxusmedioambiente.com, Oviedo, España

2 –Departamento de Genética – Universidad de Oviedo, Oviedo, España

**Palabras clave:** Biomonitorio 2.0; ADN–Ambiental; eDNA; Metabarcoding; Macroinvertebrados.

### **Resumen:**

El desarrollo de técnicas moleculares (basadas en el ADN) como el eDNA y el metabarcoding están permitiendo superar las limitaciones del biomonitorio tradicional basado en la identificación morfológica gracias, entre otras cosas, a la escalabilidad de estas nuevas técnicas. Estas han demostrado su funcionamiento en otros países en el biomonitorio de macroinvertebrados a partir de muestras tipo Bulk, aunque no así para las muestras de agua. Sin embargo, estas técnicas todavía necesitan probarse y validarse para el análisis de macroinvertebrados bentónicos en la península ibérica. Por ello se ha llevado a cabo un proyecto piloto aguas abajo del embalse de Matalavilla, en el río Valseco que ha recuperado hace un año su caudal ecológico después de más de 50 años sin aporte de agua. En dicha prueba piloto las diferentes técnicas han mostrado grados de similitud dispares dependiendo de la abundancia de individuos de los taxones que se analicen, llegando a mostrar niveles de detección idénticos para aquellas familias que aparecen en alta densidad en la zona de muestreo, las cuales suponen más del 96% de los individuos presentes en la muestra. En cualquier caso, se ha evidenciado, que la técnica de metabarcoding señala la necesidad de ampliación de las bases de datos moleculares de referencia para el grupo de los macroinvertebrados.

### **Introducción:**

#### Ventajas de las técnicas de ADN ambiental:

Actualmente el biomonitorio del estado ecológico de los ríos con macroinvertebrados se está llevando a cabo principalmente con técnicas basadas en la identificación visual para la asignación taxonómica por morfología de los individuos (1) (De aquí en adelante: técnicas de identificación morfológica). Estas técnicas tienen una serie de inconvenientes, de los cuales el más relevante es la alta demanda de tiempo que requiere para procesar cada muestra. Esto se debe falta de escalabilidad del proceso, ya que tanto en el lavado como la identificación morfológica bajo la lupa necesitan una dedicación extensa (hands on) de taxónomos expertos para cada una de las muestras. Haciéndola una metodología costosa en términos de tiempo de trabajo.

Las tecnologías genómicas (o moleculares) tienen el potencial de sortear muchos de los desafíos asociados del biomonitorio. Cuentan con ventajas como que son taxonómicamente más completas al permitir llegar fácilmente a niveles de género o especie y dependen menos de los conocimientos taxonómicos que los métodos de vigilancia habituales. Pero además son asequibles en términos de

coste y tiempo cuando se procesan un gran número de muestras porque, aunque los costes en equipos y reactivos es mayor, son fácilmente escalables. (2,3,4).

El factor de escalabilidad depende del tipo de muestra, pero los procesos de extracción de ADN permiten procesar entre 8 y 48 muestras simultáneamente mientras que durante la amplificación por PCR se puede realizar con 96 muestras de cada vez. Además, los resultados de secuenciación se obtienen directamente informatizados por lo que no hace falta digitalizarlos y se puede automatizar los procesos de análisis posteriores.

Sumado a estas ventajas las técnicas moleculares cuentan aún con un amplio margen de mejora tanto en desempeño como en costes. Por ejemplo, los procesos de secuenciación tienen ahora un coste diez veces menor que hace apenas 10 años (5). Mientras que, a la par, se van desarrollando nuevas herramientas bioinformáticas que automatizan y agilizan las diferentes partes del proceso (6,7). Las bases de datos genómicos de referencia van progresivamente creciendo a lo largo de los años contando actualmente con bases curadas con un total de 239.000 especies animales y 71.000 especies vegetales caracterizadas genéticamente (8) y se desarrollan nuevos protocolos y marcadores que logran aumentar la capacidad de detección de estas técnicas (9).

### Aplicaciones de las técnicas de ADN ambiental:

En los últimos años las técnicas moleculares basadas en el eDNA y el metabarcoding están empezando a posicionarse como el futuro de la vigilancia ambiental (10).

Testándose en varios proyectos que están permitiendo testar las diferentes posibles aplicaciones de estas técnicas como, por ejemplo, sustituir la pesca eléctrica como técnica de seguimiento de la recuperación de los peces migratorios tras la eliminación de una presa (11). La sustitución del fototrampeo para el seguimiento de grandes mamíferos (12). O el uso de estas técnicas para el biomonitorio de ríos analizando las comunidades de macroinvertebrados bentónicos (13). Entre otras muchas aplicaciones.

### El uso de las técnicas de eDNA para el biomonitorio con Macroinvertebrados:

El biomonitorio por macroinvertebrados es una de las principales aplicaciones de estas técnicas que está actualmente en desarrollo (13) y que está dando resultados prometedores cuando se testan en entornos relevantes utilizando muestras Bulk (muestras de individuos completos cogidos con red siguiendo la metodología de identificación morfológica) (14,15,16). Sin embargo, aún no se ha estudiado la aplicabilidad de esta técnica en la península ibérica. Por lo que es posible que debido a las diferencias genéticas o a la diferente cobertura de secuenciación en las bases de datos entre las especies presentes en la península y aquellos países donde se han llevado a cabo los principales estudios de metabarcoding (Alemania, Dinamarca, Estados Unidos...) pueda suponer un desempeño diferente de estas técnicas en la península. Por ello se lleva a cabo este proyecto piloto que tiene como uno de sus objetivos el testar la correlación de los resultados de las muestras Bulk con el monitoreo de identificación morfológica.

### Proyecto piloto en Matalavilla–Valseco:

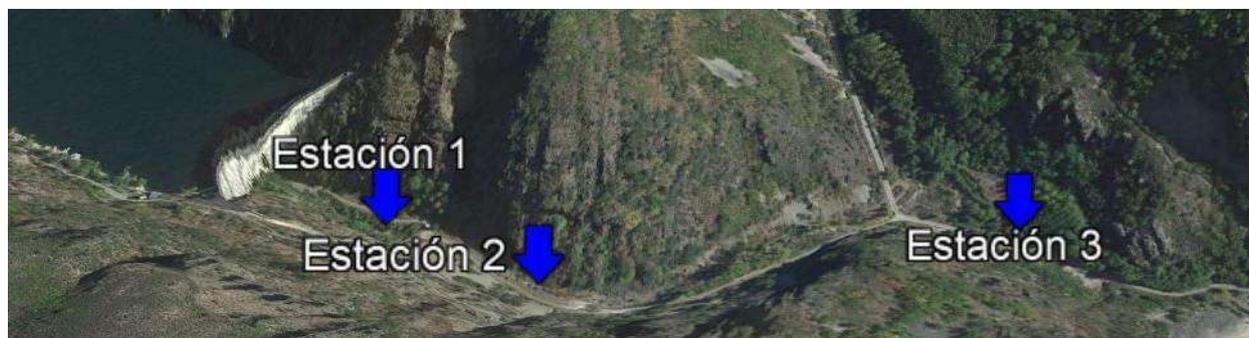
En 1967 se construyó en León (España) el embalse de Matalavilla, que cortó el río Valseco a tan sólo 800 metros de su desembocadura en el río Salentinos. Estos 800 metros de río permanecieron completamente secos durante más de 50 años. Hasta que a principios de 2020 se restauró su caudal ecológico. Un año después realizamos un estudio piloto en 3 puntos del río aguas abajo del embalse

tomando diferentes muestras que se analizaron de forma simultánea mediante la metodología de identificación morfológica y las técnicas moleculares a fin de compararlas y estudiar su correlación y eficiencia.

## Material y Métodos:

### Puntos de muestreo

Para este proyecto piloto se establecieron 3 estaciones de muestreo aguas abajo de la presa del embalse de Matalavilla en el río Valseco a lo largo de 800 metros. Cada estación de muestreo tiene 100m de longitud. La primera (estación 1) se sitúa 100 metros aguas abajo de la salida de agua del embalse. La segunda (estación 2) se sitúa a 300m y la tercera (estación 3) se sitúa en el tramo final del río justo antes de fusionarse con el río Salentinos. Al final de la estación 2 el río se infiltra bajo tierra donde recorre unos 300 metros hasta emerger de nuevo justo antes de la estación 3. También se tomaron muestras de agua directamente de la salida del embalse.



*Ilustración 1.* Distribución de las estaciones de muestreo a lo largo del río Valseco aguas abajo del embalse de Matalavilla.

### Metodología de identificación morfológica

El muestreo se realizó partiendo la base metodológica propuesta por Barbour et. al. (17) siguiendo el protocolo oficial del Ministerio ML-Rv-I-2013 (1). Se calcularon los índices IBMWP y METI para cada una de las muestras conforme a los valores de referencia establecidos para esta tipología de río (tipología 25, muy modificado) en el Real Decreto 817/2015, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental.

### Metodología molecular

Para los análisis moleculares se tomaron muestras tipo Bulk. Son muestras de macroinvertebrados tomadas con la misma metodología que en los muestreos de identificación morfológica con la salvedad de pasos de esterilización de todo el material que entre en contacto con la muestra con lejía 10% v/v y doble lavado con agua destilada antes de cada muestreo. Las muestras de homogenizaron y se tomaron 10 gramos para extraer con el kit DNeasy PowerMax Soil de Qiagen realizando dos réplicas de extracción por muestra. El ADN extraído se amplificó en un sistema de doble PCR con los primers BF3/BR2 con 3 réplicas por extracción. Tras esto se prepara, como paso previo a la secuenciación, un pool en equimolaridad.

Finalmente, las muestras se secuenciaron en MiSeq de Illumina, en paired-end con el Reagent Kit v3 (600-cycle) y con un 5% de phiX. Los resultados de secuenciación se analizaron en MBrave (7) utilizando las bases de datos de BOLD system.

**Resultados y Discusión:**

Composición en familias indicadoras

A continuación, se muestran las diferentes familias detectadas por ambas metodologías para cada una de las estaciones de muestreo. Solo se consideran aquellas familias reconocidas como bioindicadoras en los índices del ministerio (1). En el caso de la metodología de identificación morfológica se muestran las abundancias estimadas. Para los resultados obtenidos por técnicas moleculares se muestra solo los valores de presencia/ausencia dado que la PCR debido a su amplificación diferencial modifica los valores de abundancia de forma que estos no son correlativos a la biomasa de cada taxón en la muestra inicial (19 y 20) y por tanto sirve para estimar valores de abundancia fiables.

TAXONES		MORFOLÓGICO			BULK		
ORDEN	FAMILIA	Est.1	Est.2	Est.3	Est.1	Est.2	Est.3
ARACNIDA	Acariformes	48		38			
COLEÓPTERA	Dytiscidae	1					
COLEÓPTERA	Scirtidae			10			
CRUSTÁCEOS	Ostracoda			10			
DIPTERA	Dolichopodidae					✓	
DIPTERA	Anthomyiidae	1	1				
DIPTERA	Ceratopogonidae			19	✓	✓	
DIPTERA	Chironomidae	8928	1971	1699	✓	✓	✓
DIPTERA	Culicidae						✓
DIPTERA	Empididae	96	224	115	✓	✓	✓
DIPTERA	Limoniidae	1	32	1	✓	✓	✓
DIPTERA	Psychodidae	48	32				
DIPTERA	Simuliidae		32	976	✓		✓
DIPTERA	Tipulidae	48		2			✓
EPHEMEROPTERA	Baetidae	720	1005	506	✓	✓	✓
EPHEMEROPTERA	Heptageniidae		1	202	✓	✓	✓
OLIGOCHAETA	Oligochaeta	48	749	490	✓	✓	✓
PLECOPTERA	Capniidae					✓	
PLECOPTERA	Leuctridae	1008	954	42	✓	✓	✓
PLECOPTERA	Nemouridae	384	704	83	✓	✓	✓
PLECOPTERA	Perlodidae			32			
TRICHOPTERA	Glossosomatidae	48		10			
TRICHOPTERA	Limnephilidae		1	1	✓	✓	✓
TRICHOPTERA	Philopotamidae			1			
TRICHOPTERA	Rhyacophilidae	1	353	1		✓	
TURBELARIOS	Planariidae			32			
<b>Número total de Familias</b>		<b>14</b>	<b>13</b>	<b>20</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>12</b>

Tabla 1. Abundancias (redondeadas a la unidad) de las diferentes familias de macroinvertebrados para las muestras analizadas por identificación morfológica y presencia de familias para las muestras analizadas por técnicas moleculares (BULK). Se muestran en verde aquellas familias que sí han sido detectadas por las técnicas moleculares y no por las morfológicas. Se muestran en rojo y

amarillo aquellas familias que no han sido detectadas por las técnicas moleculares, pero sí por las morfológicas. Siendo las amarillas aquellas que se encontraron tan solo en la revisión de las muestras morfológicas.

En la Tabla 1 se puede observar la correlación de detección de las familias de macroinvertebrados bentónicos entre las dos metodologías. Esta misma información se muestra de forma resumida en la Ilustración 2 para la presencia/ausencia de las familias sin tener en consideración la abundancia de estas.

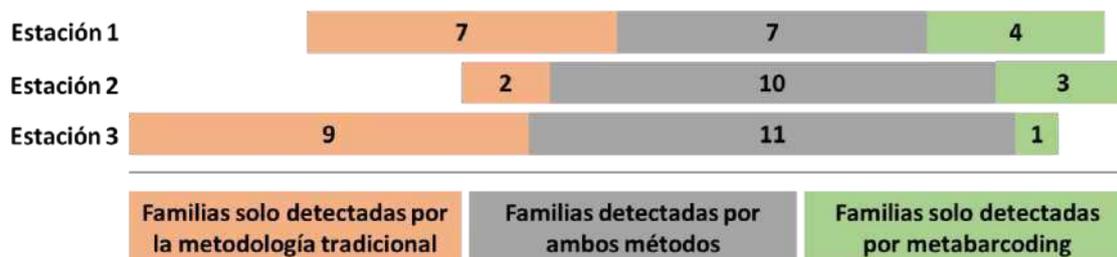


Ilustración 2. Número de familias detectadas para cada estación por cada una de las metodologías.

Calculadas a partir de la identificación morfológica, las abundancia total de individuos para las estaciones 1, 2 y 3 son de 11380, 6059 y 4270 individuos por 2,5m<sup>2</sup> respectivamente. Si consideramos las abundancias de las familias no detectadas por las técnicas moleculares con respecto a la abundancia total en cada una de las estaciones estas son un 1,7%, 0,5% y 3,6% respectivamente. Dicho de otra forma, se habrían detectado e identificado más del 96% de los individuos presentes en las muestras al menos a nivel de familia por metabarcoding.

#### Similitud en composición de familias indicadoras

Para analizar la similitud entre la composición de familias obtenidas por las diferentes metodologías en los mismos puntos de muestreo se realiza un análisis de similitud de Jaccard (ilustración 3). En los resultados del análisis se puede observar la similitud en composición de las diferentes familias entre las dos técnicas (MOvsBULK) ronda entre 39% y el 63% cuando se consideran todas las familias.

Se repiten los análisis considerando solo aquellas familias con una abundancia mayor a 15 individuos por cada 2,5m<sup>2</sup> (Media Abundancia) y de nuevo para aquellas familias que presentan más de 50 individuos por 2,5m<sup>2</sup> (Abundancia Alta).

Como se puede observar en la ilustración 3 los valores de similitud aumentan a medida que se descartan las familias con una abundancia muy baja, hasta el punto de que ambas técnicas obtienen los mismos resultados para cada una de las estaciones cuando solo se consideran familias con un valor de abundancia mayor a 50 individuos por 2,5m<sup>2</sup>.

Aunque los datos de abundancia solo se tienen a partir del muestreo tradicional al hacer el análisis de similitud en media y alta abundancia se eliminan también las familias detectadas por las técnicas moleculares que no fueron detectadas por la metodología de identificación morfológica.

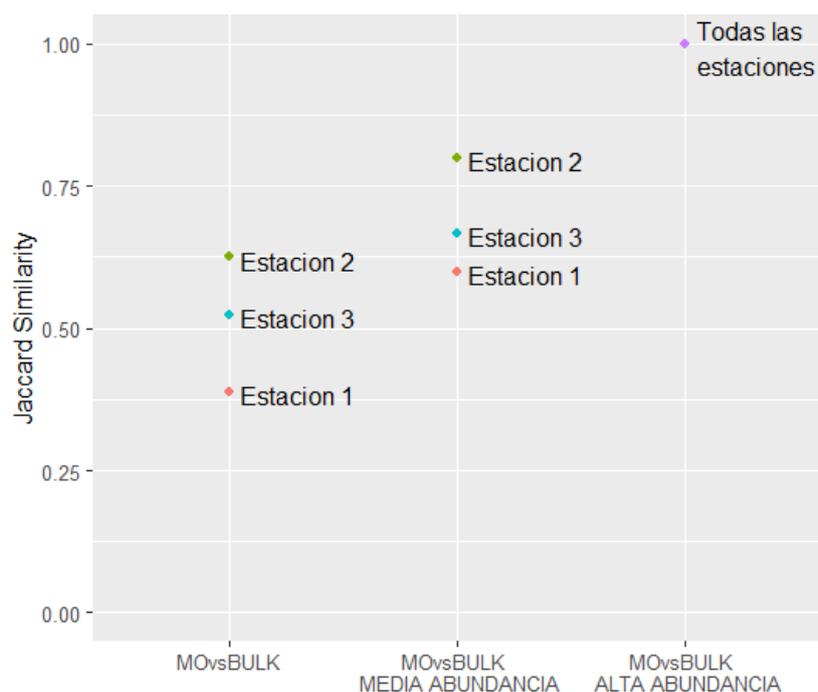


Ilustración 3. Valores resultantes del análisis de Jaccard Similarity para la presencia/ausencia de las familias entre las distintas metodologías analizadas en cada estación (MO = Morfológico). 1 máxima similitud.

### Índices de estado ecológico

En la siguientes tablas se muestran las métricas y valores de los índices de calidad de agua para cada una de las estaciones y tipos de muestra. La métrica IASP se corresponde al valor medio de sensibilidad de las familias presentes en la muestra. El índice METI es semicuantitativo por lo que no procede calcularlo para las muestras procesadas por las metodologías moleculares que solo cuentan con datos de presencia/ausencia.

Métrica / Índice	Estación 1	Estación 2	Estación 3
<b>Nº de Familias</b>	14	13	20
<b>Nº Familias EPT</b>	5	6	9
<b>IASP</b>	4,79	5,31	5,55
<b>IBMWP</b>	Moderado (0,31)	Moderado (0,32)	Bueno (0,51)
<b>METI</b>	Moderado (0,53)	Máximo (0,81)	Máximo (0,94)

Tabla 2. Valores para las diferentes métricas e índices para las muestras procesadas por la metodología de identificación morfológica en las diferentes estaciones.

Métrica / Índice	Estación 1	Estación 2	Estación 3
<b>Nº de Familias</b>	11	13	12
<b>Nº Familias EPT</b>	5	7	5
<b>IASP</b>	5,27	5,69	5,08
<b>IBMWP</b>	Moderado (0,27)	Moderado (0,34)	Moderado (0,28)

Tabla 3. Valores para las diferentes métricas e índices para las muestras procesadas por metabarcoding en las diferentes estaciones.

Los resultados para el cálculo del estado ecológico para las diferentes metodologías son similares, salvo en el caso de la estación 3 donde se encuentran más diferencias entre los diferentes indicadores. Por ejemplo, en el caso del IBMWP el estado cambiaría de considerarse “Bueno” con la metodología de identificación morfológica y “Moderado” en el caso de la metodología molecular.

#### Especies identificadas por metabarcoding

Una de las ventajas que aporta el Metabarcoding frente a la metodología de identificación morfológica es la capacidad de identificación a niveles más específicos. En la Tabla 4 se presenta una relación de las especies detectadas e identificadas en cada estación por metabarcoding.

Familia	Especies	Estación	Familia	Especies	Estación
Curculionidae	<i>Rhamphus oxyacanthae</i>	2	Limoniidae	<i>Idiocera sziladyi</i>	1, 2, 3
Ceratopogonidae	<i>Palpomyia flavipes</i>	1, 2	Simuliidae	<i>Simulium monticola</i>	1, 3
Ceratopogonidae	<i>Culicoides delta</i>	2	Simuliidae	<i>Simulium argyreatum</i>	3
Chironomidae	<i>Macropelopia nebulosa</i>	1	Tachinidae	<i>Cricotopus annulator</i>	1
Chironomidae	<i>Orthocladius thienemanni</i>	1	Tachinidae	<i>Microtendipes</i> sp.	1
Chironomidae	<i>Prodiamesa olivacea</i>	1	Tachinidae	<i>Potthastia gaedii</i>	1, 2, 3
Chironomidae	<i>Orthocladius almskari</i>	1, 2	Tipulidae	<i>Tipula obscuriventris</i>	3
Chironomidae	<i>Tvetenia calvescens</i>	1, 2	Baetidae	<i>Baetis rhodani</i>	1, 2, 3
Chironomidae	<i>Eukiefferiella devonica</i>	1, 2, 3	Heptageniidae	<i>Rhithrogena carpatoalpina</i>	2, 3
Chironomidae	<i>Micropsectra appendica</i>	1, 2, 3	Heptageniidae	<i>Ecdyonurus</i> sp.	3
Chironomidae	<i>Micropsectra atrofasciata</i>	1, 2, 3	Heptageniidae	<i>Rhithrogena nuragica</i>	3
Chironomidae	<i>Micropsectra contracta</i>	1, 2, 3	Enchytraeidae	<i>Fridericia isseli</i>	1
Chironomidae	<i>Micropsectra junci</i>	1, 2, 3	Enchytraeidae	<i>Enchytraeus buchholzi</i>	2
Chironomidae	<i>Brillia modesta</i>	1, 3	Enchytraeidae	<i>Fridericia perrieri</i>	2
Chironomidae	<i>Brillia</i> sp.	2	Enchytraeidae	<i>Henlea perpusilla</i>	2
Chironomidae	<i>Macropelopia</i> sp.	2	Enchytraeidae	<i>Marionina communis</i>	2
Chironomidae	<i>Orthocladius doreus</i>	2	Enchytraeidae	<i>Henlea nasuta</i>	3
Chironomidae	<i>Parametriocnemus</i> sp.	2	Erpobdellidae	<i>Trocheta pseudodina</i>	3
Chironomidae	<i>Phaenopsectra</i> sp.	2	Lumbriculidae	<i>Stylodrilus heringianus</i>	3
Chironomidae	<i>Stempellinella brevis</i>	2	Capniidae	<i>Capnioneura libera</i>	2
Chironomidae	<i>Micropsectra apposita</i>	2, 3	Leuctridae	<i>Leuctra iliberis</i>	1, 2, 3
Chironomidae	<i>Zavrelimyia</i> sp.	2, 3	Leuctridae	<i>Leuctra major</i>	1, 2, 3
Chironomidae	<i>Chaetocladius</i> sp.	3	Leuctridae	<i>Leuctra inermis</i>	3
Chironomidae	<i>Orthocladius lignicola</i>	3	Nemouridae	<i>Nemoura uncinata</i>	1, 2, 3
Chironomidae	<i>Orthocladius rubicundus</i>	3	Nemouridae	<i>Protonemura meyeri</i>	2
Chironomidae	<i>Paracricotopus</i> sp.	3	Nemouridae	<i>Protonemura asturica</i>	2, 3
Chironomidae	<i>Rheocricotopus fuscipes</i>	3	Nemouridae	<i>Protonemura risi</i>	2, 3
Chironomidae	<i>Smittia</i> sp.	3	Nemouridae	<i>Protonemura auberti</i>	3
Culicidae	<i>Anopheles funestus</i>	3	Limnephilidae	<i>Allogamus ligonifer</i>	1
Empididae	<i>Wiedemannia bohemani</i>	1, 2, 3	Limnephilidae	<i>Potamophylax latipennis</i>	1, 3
Empididae	<i>Clinocera madicola</i>	2	Limnephilidae	<i>Allogamus laureatus</i>	2, 3
			Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila relictata</i>	2

Tabla 4 Relación de especies identificadas por metabarcoding para cada estación.

### OTUs no asignados

Durante el procesado bioinformático de los datos de secuenciación, se generan muchos más OTUs (Operational Taxonomix Units) de los que finalmente pueden ser asignados a una especie en concreto, en función de las bases de datos. Eso quiere decir que hay biodiversidad detectada (que hemos secuenciado y detectado) pero que no puede ser identificada finalmente (asignada a una especie, género o familia). El número de OTUs no asignados en las muestras ha sido de 87 para la estación 1, 100 para la 2 y 89 para la estación 3.

### **Discusión:**

Para poder analizar las diferencias de detección entre las dos técnicas es necesario hacer hincapié en que las muestras a partir de las que se han realizado dichos análisis son muestras duplicadas para el mismo punto, es decir, se tomó una muestra completa e independiente para realizar cada análisis. Esto introduce un sesgo de muestreo que puede implicar que, aquellas familias que tienen una baja presencia en el punto de muestreo puedan no ser incluidas en la muestra simplemente por un efecto aleatorio generado por el muestreo.

Para testar este sesgo se realizó el análisis de similitud de Jaccard a diferentes niveles de abundancia (Ilustración 5) donde se observa que a medida que se descartaban las familias que presentaban bajas abundancias, la similitud entre la detección de las dos técnicas aumentaba. Esto también se puede ver al considerar el número de individuos totales identificados en las muestras, donde el metabarcoding ha sido capaz de detectar e identificar a nivel de familia el 96% de los individuos.

Basándonos en lo comentado anteriormente, al ser un proyecto piloto, tener solo 3 puntos de muestreo y no tener réplicas de muestreo, no podemos discernir si la diferencia de detección es un sesgo de muestreo o una diferencia real. Ambas hipótesis siguen siendo plausibles a la luz de los datos de los que disponemos. Pero, a pesar de las diferencias en la detección de diferentes familias por las dos metodologías, esto no ha afectado significativamente al resultado de los índices de estado ecológico al menos para las dos primeras estaciones. Sin embargo, en la tercera estación, donde se detectan hasta 8 familias menos por la metodología molecular, el resultado de los índices se ve afectado, dando un resultado de “Moderado” en vez de “Bueno”.

La falta de detección de algunas familias y la detección de otras por parte de la metodología molecular en contraposición a la morfológica puede ser explicada por varias razones. La primera, que ya se ha comentado, sería el sesgo introducido por el muestreo. Otra explicación puede deberse a la falta de secuencias de referencia para algunas especies de macroinvertebrados en las bases de datos; y la tercera sería un sesgo de amplificación introducido por el *primer*.

Estudios previos han analizado la falta de presencia de secuencias de los grupos de macroinvertebrados bioindicadores en las bases de datos (21) concluyendo que existe una falta de muchas secuencias de referencia para muchas especies, además de la falta de checklist específica para los macroinvertebrados acuáticos. Por otra parte, en nuestros datos se observan muchos OTUs sin asignar, es decir, muchas secuencias detectadas que no ha sido posible asignarlas a ninguna especie. Puede que algunas de esas secuencias pertenezcan a grupos que no son objetivos de este estudio, como pueden ser bacterias u hongos, pero los primers BR2/BF3 están diseñados para

realizar una amplificación específica de las secuencias de macroinvertebrados por lo que debería haber pocas amplificaciones fuera de este grupo.

### Conclusiones:

Las técnicas moleculares tienen un gran potencial para su aplicación en el biomonitoreo en general y más concretamente en el de macroinvertebrados mediante metabarcoding de muestras BULK. Este proyecto piloto arroja luz sobre las fortalezas y debilidades de estas técnicas en su aplicación a día de hoy en un entorno real. Fortalezas como la detección correcta de las familias con altas abundancia en la zona de muestreo, así como la identificación a un nivel más específico. Debilidades como la falta de asignación por escasez de secuencias en las bases de datos de referencia y la imposibilidad actual de obtener valores fiables de abundancia.

### Referencias / Bibliografía:

1. MAGRAMA. 2013. *Protocolo De Muestreo Y Laboratorio De Fauna Bentónica De Invertebrados En Ríos Vadeables*. (ML-Rv-I2013) 2013:23.
2. Baird DJ, Hajibabaei M. 2012. *Biomonitoring 2.0: a new paradigm in ecosystem assessment made possible by nextgeneration DNA sequencing*. *Molecular Ecology* 21:2039–2044
3. Ji Y, Ashton L, Pedley SM, Edwards DP, Tang Y, Nakamura A et al. 2013. *Reliable, verifiable and efficient monitoring of biodiversity via metabarcoding*. *Ecology letters* 16:1245–1257
4. Perring MP, Standish RJ, Price JN, Craig MD, Erickson TE, Ruthrof KX et al. 2015. *Advances in restoration ecology: rising to the challenges of the coming decades*. *Ecosphere* 6:1–25.
5. Wetterstrand KA. 2022 *DNA Sequencing Costs: Data from the NHGRI Genome Sequencing Program (GSP)* Available at: [www.genome.gov/sequencingcostsdata](http://www.genome.gov/sequencingcostsdata). Accessed [22/5/2022].
6. Bolyen E, Rideout JR, Dillon MR, Bokulich NA, Abnet CC, Al-Ghalith GA, et al. *Reproducible, interactive, scalable and extensible microbiome data science using QIIME 2*. *Nat Biotechnol* 2019;37:852–7. <https://doi.org/10.1038/s41587019-0209-9>.
7. Ratnasingham S. 2019 *mbRAVE: The Multiplex Barcode Research And Visualization Environment*. *Biodivers Inf Sci Stand*;3. <https://doi.org/10.3897/biss.3.37986>.
8. Ratnasingham, S. & Hebert, P. D. N. 2007. *BOLD: The Barcode of Life Data System (www.barcodinglife.org)*. *Molecular Ecology Notes* 7, 355–364. DOI: [10.1111/j.1471-8286.2006.01678.x](https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2006.01678.x)
9. Elbrecht V, Peinert B, Leese F. 2017. *Sorting things out: Assessing effects of unequal specimen biomass on DNA metabarcoding*. *Ecol Evol* 2017;7:6918–26. <https://doi.org/10.1002/ece3.3192>.
10. Deiner K, Bik HM, Mächler E, Seymour M, Lacoursière-Roussel A, Altermatt F, et al. 2017. *Environmental DNA metabarcoding: Transforming how we survey animal and plant communities*. *Mol Ecol* 2017;26:5872–95. <https://doi.org/10.1111/mec.14350>.
11. Duda JJ, Hoy MS, Chase DM, Pess GR, Brenkman SJ, McHenry MM, et al. 2020 *Environmental DNA is an effective tool to track recolonizing migratory fish following large-scale dam removal*. *Environ DNA* 1–21. <https://doi.org/10.1002/edn3.134>
12. Harper LR, Handley LL, Carpenter AI, Ghazali M, Muri C Di, Macgregor CJ, et al. 2019. *Environmental DNA (eDNA) metabarcoding of pond water as a tool to survey conservation and management priority mammals*. *BioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/546218>.

13. Citation: Duarte, S.; Leite, B.R.; Feio, M.J.; Costa, F.O.; Filipe, A.F. 2021 *Integration of DNA–Bases Approaches in Aquatic Ecological Assessment Using Benthic Macroinvertebrates*. *Water*, 13, 331. <https://doi.org/10.3390/w13030331>
14. Kuntke F, de Jonge N, Hesselsøe M, Lund Nielsen J. Stream water quality assessment by metabarcoding of invertebrates. *Ecol Indic* 2020;111:105982. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105982>.
15. Pereira-da-Conceicao L, Elbrecht V, Hall A, Briscoe A, Barber-James H, Price B. Metabarcoding unsorted kick-samples facilitates macroinvertebrate-based biomonitoring with increased taxonomic resolution, while outperforming environmental DNA. *Environ DNA* 2021;3:353–71. <https://doi.org/10.1002/edn3.116>.
16. Serrana JM, Miyake Y, Gamboa M, Watanabe K. Comparison of DNA metabarcoding and morphological identification for stream macroinvertebrate biodiversity assessment and monitoring. *Ecol Indic* 2019;101:963–72. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.008>.
17. Barbour MT, Gerritsen J, Snyder BD, Strinbling JB. 1999. *Rapid Bioassessment Protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish*. EPA 841–B–99–002. Environmental Protection Agency, Office of Water. Washington, D.C.)
18. Agencia Vasca del Agua 2021. *Protocolo de muestreo, análisis y evaluación de fauna bentónica macroinvertebrada en ríos vadeables*. RW\_MACROINVERTEBRADOS\_URA\_V\_3.1
19. Elbrecht V, Leese F 2015. *Can DNA–Based Ecosystem Assessments Quantify Species Abundance? Testing Primer Bias and Biomass—Sequence Relationships with an Innovative Metabarcoding Protocol*. *PLoS ONE* 10(7): e0130324. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130324>
20. Gauthier, Mailys; Konecny-Dupré, Lara; Nguyen, Agnès; Elbrecht, Vasco; Datry, Thibault; Douady, Christophe; Lefébure, Tristan 2019. Enhancing DNA metabarcoding performance and applicability with bait capture enrichment and DNA from conservative ethanol. *Molecular Ecology Resources*, (), 1755–0998.13088–. doi:10.1111/1755–0998.13088
21. Fueyo, A.; Granero–Castro, J.; Villazán Peñalosa, B;Borrell Pichs, Y. 2021. *Stones in the road prevents effective implementation of eDNA–based freshwater quality monitoring in the Iberian Peninsula*. ARPHA Conference Abstracts. DOI: 10.3897/aca.4.e64974

## IMPACTO DEL TRÁFICO DE LAS AUTOVÍAS SOBRE LAS COMUNIDADES DE INSECTOS

García Sánchez-Colomer, MR; Viejo Montesinos, JL; Díaz Alegre, J; Franco Saldarriaga, A; García Tuesta, O.

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), manuel.colomer@cedex.es, Madrid, España

**Palabras clave:** Declive de insectos; Colector de insectos; Impacto ambiental; Carreteras; Tráfico; Atropello.

### Resumen:

Se estudia el impacto del tráfico de las autovías sobre los insectos voladores diurnos en tres tramos agrícolas y cuatro tramos urbanos de cuatro localidades españolas. Con este objeto se ha diseñado el colector de insectos, un nuevo sistema de muestreo que nos permite emular los atropellos de un vehículo en circulación.

Se han realizado algunas pruebas para evaluar las características operativas básicas y la funcionalidad del colector de insectos. Se ha comprobado que no se producen pérdidas de la muestra recogida a lo largo del muestreo, que la relación entre el número de insectos capturados en el colector y el número de insectos atropellados es proporcional a la superficie frontal de los vehículos, que en un vehículo de tamaño medio esta relación es 1:10 y, finalmente, que la altura de instalación del colector en el vehículo no tiene un efecto significativo sobre el número de insectos capturados.

El número de atropellos de insectos depende principalmente de su abundancia en cada localidad. Se ha comprobado asimismo que, en las localidades muestreadas, sobre la autovía se captura la mitad de los insectos que fuera de la autovía. El número de insectos atropellados varía entre 4.000 y 45.000 por km y hora. Encontramos un umbral, en torno a unos 6.000 vehículos/h, en el que el porcentaje de *Hymenoptera* atropellados se reduce hasta llegar a ser nulo en algunas carreteras y sin embargo el porcentaje de atropellos de *Diptera* sigue aumentando proporcionalmente con el tráfico.

Se ha comprobado que este nuevo sistema de muestreo activo en carretera supera eficazmente los sesgos de los métodos habituales de muestreo fuera de carretera, permitiendo abordar con mayor fiabilidad el análisis de los impactos de las carreteras sobre los insectos.

### Introducción:

El objeto de esta comunicación es presentar algunos resultados del proyecto desarrollado en el CEDEX con el fin de analizar el impacto de las grandes carreteras sobre los insectos en tramos urbanos y rurales. El proyecto se inició en 2018, año en que se aprobó la Iniciativa de Polinizadores de la UE.

Este proyecto se centra en los insectos voladores diurnos, ya que se entiende que este grupo evidenciará mejor y más fácilmente las características del impacto de las carreteras sobre esta Clase. En esta comunicación, cuando se hable de insectos se está refiriendo a aquellos que son diurnos y voladores. Se presta especial atención a *Diptera* e *Hymenoptera* por su importancia en el servicio ecosistémico de la polinización y por ser los Órdenes que normalmente aportan una mayor cantidad de ejemplares atropellados.

Intentar describir el impacto de las carreteras sobre los insectos es un problema complejo. Esto se debe, principalmente, a la multiplicidad de comportamientos dentro de la enorme Clase Insecta frente a las carreteras.

Muy simplificada, se pueden agrupar en tres estos diferentes patrones de comportamiento. Así, una parte de los insectos cruza la carretera, siendo generalmente “indiferentes” ante la presencia de la infraestructura. Estos insectos son los que sufren mayoritariamente el impacto por atropello. Otro grupo de insectos ya sea por su modo de explotar el territorio, ya sea por presentar una menor movilidad, etc., evitan cruzar la carretera. Estos insectos “sensibles” a la presencia de la carretera no son generalmente atropellados pero sufren otro impacto debido a que la infraestructura limita su movilidad, lo que es conocido como efecto de borde. Además encontramos un tercer grupo de insectos cuyo comportamiento frente a la carretera es “variable”, siendo normalmente indiferentes a la presencia de la carretera pero volviéndose sensibles al aumentar la anchura de la infraestructura o la intensidad del tráfico, en función de la disponibilidad de alimento en un lado de la carretera o en el opuesto, e incluso por factores meteorológicos, principalmente la velocidad del viento. Ambos impactos, atropello y efecto de borde, son dos componentes del efecto generado por las infraestructuras lineales de transporte conocido como fragmentación de hábitats. Para entender el impacto de las carreteras sobre los insectos es necesario que el sistema de muestreo nos permita reconocer estos diferentes comportamientos en los insectos muestreados. Por este motivo, en primer lugar se revisaron los métodos de muestreo de los insectos en los estudios del impacto de las carreteras en la bibliografía científica.

Los métodos empleados habitualmente son sistemas de captura externos a las carreteras. Son de uso habitual las trampas Malaise o las bandejas con agua jabonosa así como los transectos a pie por los bordes de las carreteras.

Esta disposición de las trampas de muestreo “fuera de la carretera” genera incertidumbres sobre la muestra recogida. El muestreo con trampas fijas no permite reconocer si los ejemplares capturados vienen de cruzar la carretera o proceden del mismo lado de la trampa, es decir, cuáles presentan un comportamiento indiferente, sensible o variable frente a la presencia de la carretera.

En cuanto a los transectos, son numerosas las fuentes de error por pérdida de ejemplares atropellados (por ejemplo, los ejemplares eliminados al quedarse adheridos a los vehículos que los golpean o a las ruedas de los que transitan por el mismo carril, por disponerse fuera del campo de visión del recolector, por predación de insectos, aves o micromamíferos, o arrastrados por agua o viento, o porque los restos son irreconocibles, etc.).

También se comprueba en la bibliografía que tanto las trampas fijas como los transectos suelen ubicarse en zonas de concentración de atropellos. Esta localización puede dar lugar a una sobreestimación del número de atropellos cuando extienden sus resultados a ámbitos geográficos mayores.

Finalmente, es frecuente que los estudios se centren sobre los Órdenes más llamativos, como *Lepidoptera*, *Odonata* o *Coleoptera*, o con interés agronómico, como determinadas especies del Orden *Hymenoptera*.

Entonces se tomó la decisión de diseñar un sistema sencillo que permitiera emular los atropellos reales de cualquier vehículo, desde la propia carretera.

### Material y Métodos:

#### Descripción del cubo colector de insectos:

El colector de insectos (figura 1) consiste en un cubo de metacrilato de 50 por 50 cm, con una puerta basculante en la cara delantera que se abre al moverse el vehículo por encima de 20 km/h y los insectos que entran quedan atrapados en la mosquitera de 2 mm de poro de la cara trasera.



Figura 1. Colector de insectos.

En los ensayos se estableció que la velocidad óptima del vehículo para muestrear era de 70 km/h, a fin de mantener la integridad de los insectos capturados.

#### Realización de ensayos sobre el funcionamiento del colector:

Con el fin de valorar la eficacia del sistema de muestreo hemos realizado las siguientes pruebas:

- Posibles pérdidas de muestra durante los muestreos (figura 2, izquierda).
- Posibles diferencias entre los muestreos según la altura del colector.
- Examinar si la relación del número de capturas del colector de insectos y la de atropellos en la superficie frontal de un vehículo es lineal (figura 2, derecha). La superficie frontal de un coche medio es 10 veces mayor que la del colector (coche = 25.000 cm<sup>2</sup>, colector de insectos 2.500 cm<sup>2</sup>), por tanto la relación superficie-frontal-colector:superficie-frontal-vehículo es 1:10.

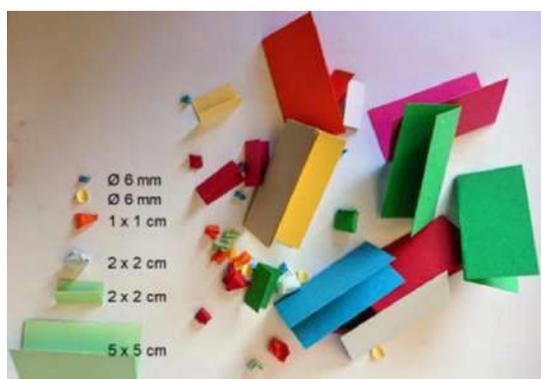


Figura 2. Izquierda, piezas de cartulina utilizadas en la prueba de la integridad de la muestra (prueba a). Derecha, instalación de dos colectores de insectos sobre un vehículo (pruebas b y c).

Metodología de muestreo:

Los muestreos de tramos de autovía en zonas rurales se realizaron los días 19, 20 y 21 de junio de 2019. Las localidades y características de los muestreos se detallan en la figura 3 izquierda y tabla 1. En las zonas rurales se muestrearon también dos viales sin asfaltar aproximadamente paralelos a cada lado de la autovía a una distancia media de 300 m. Estas muestras de caminos rurales sin pavimentar constituyen la muestra de control, representativa de la comunidad de insectos no afectada por la carretera. El muestreo de cada tramo de autopista y el de los dos viales rurales paralelos no pavimentados, se realizó simultáneamente. Para ello, se han utilizado tres vehículos en cada lugar, cada uno portando un colector de insectos.

Las autopistas urbanas se muestrearon de forma diferente debido al escaso número de insectos recogidos durante los ensayos en estos tramos. Los días 4 y 5 de julio de 2019 se recogieron muestras en tramos de cuatro autopistas del interior de Madrid (figura 3 derecha y tabla 1).



Figura 3. Localización de los tramos de muestreo en áreas rurales (izquierda) y en áreas urbanas en Madrid (derecha).

Al final de cada muestreo, los insectos capturados se conservaron rociando etanol puro sobre los insectos capturados desde la malla de plástico. A continuación, los insectos recogidos se retiraron del colector con un cepillo suave, guardándose en un frasco de plástico de 500 cm<sup>3</sup> con etanol al 70 % para su conservación y posterior identificación en el laboratorio.

Tratamiento de los datos

Para analizar el número de insectos recogidos en las zonas rurales se utilizó la mediana de las tres repeticiones de cada tramo de autopista y de cada camino rural no pavimentado. En el caso de las autopistas urbanas, sólo se obtuvo un dato por tramo de autopista. Los datos se refieren a insectos/km para comparar las muestras recogidas en tramos de diferente longitud.

<b>Ubicación</b>	<b>Carretera</b>	<b>Nº de repeticiones</b>	<b>Km/muestra</b>	<b>Nº de muestras</b>	<b>Km muestreados</b>
Valencia	Autovía A3	3	10	3	30
	2 viales rurales no pavimentados	3	10	6	60
Toledo	Autovía A40	3	10	3	30
	2 viales rurales no pavimentados	3	10	6	60
León	Autovía A231	3	10	3	30
	2 viales rurales no pavimentados	3	10	6	60
<b>Subtotal tramos rurales de autovías y viales no pavimentados</b>				<b>27</b>	<b>270</b>
Madrid	Salida A5	1	60	1	60
	Autovía M40	1	63	1	63
	Salida A3	1	60	1	60
	Autovía M30	1	60	1	60
<b>Subtotal de tramos de autopistas urbanas</b>				<b>4</b>	<b>243</b>
<b>TOTALES</b>				<b>31</b>	<b>513</b>

Tabla 1. Tramos muestreados y sus características.

Se ha estudiado la relación entre el número de insectos/km y el volumen de tráfico. Posteriormente, se ha analizado el número de *Hymenoptera*/km y *Diptera*/km para comparar el efecto del diferente comportamiento de cada Orden frente a la carretera. También se ha analizado el porcentaje de *Hymenoptera* y *Diptera* respecto del total de insectos que utilizan la carretera. Este porcentaje representa la importancia del orden dentro de la comunidad de insectos.

Los datos de volumen de tráfico se han obtenido a partir de los datos de tráfico medio diario (TMD) de los vehículos utilizados en cada tramo de carretera estudiado. Dado que el tráfico nocturno es mucho menor, hemos dividido el valor del TMD por las 16 h de mayor actividad al día, para obtener el número de vehículos que circulan por la carretera por hora (J.M. Leal, comunicación personal). Los datos de TMD de las carreteras rurales se han obtenido de la página web de [1], mientras que los datos de las carreteras urbanas provienen del portal de datos abiertos de [2].

## Resultados:

### Controles para evaluar las posibles fuentes de error y la funcionalidad del colector de insectos *Integridad de la muestra*

En las cinco réplicas se recogieron el 100 % de las cartulinas dispuestas al inicio de cada réplica. Por tanto, no se produce ninguna pérdida de muestra desde el colector durante los muestreos.

### *Efecto del área de muestreo y la altura de montaje en el número de insectos capturados*

En la tabla 2 se muestra el número de insectos capturados en cada colector y la estimación del número de insectos que se atropellarían en la carretera si la relación de superficie del colector fuera

proporcional al área frontal de un vehículo medio con una *ratio* de 1:10. El número estimado de insectos se calcula multiplicando por dos el número de insectos capturados en el colector situado delante del motor, que sería la colocación óptima.

Repetición	Colector instalado sobre la baca	Colector instalado delante del motor	Suma de ambos colectores	Estimación en ambos colectores
1	75	55	130	110
2	116	95	211	190
3	72	67	139	134
4	78	74	152	148
5	55	65	120	130

Tabla 2. Número de insectos capturados y estimados.

Comparamos con una prueba t de Student la suma de los insectos capturados en ambos colectores y los estimados multiplicando por dos los capturados en el colector instalado delante del motor. Obtuvimos que no hay diferencias significativas ( $p < 0,01$ ), en consecuencia, el número de insectos atropellados en la carretera por un vehículo es proporcional a la superficie frontal del mismo, y puede estimarse multiplicando por 10 el número de insectos capturados en el colector.

En cuanto al posible efecto de la altura de captura, comparamos con una prueba t de Student el número de insectos capturados en el colector de la baca y delante del motor (Tabla 1). Obtuvimos que no hay diferencias significativas ( $p < 0,02$ ). Por tanto, la instalación del colector en la baca del vehículo es válida para realizar los muestreos.

*Otros controles*

Aún se deben comprobar el efecto sobre el número de insectos atropellados de la velocidad de muestreo y también el de la distancia del vehículo de muestreo al borde de la calzada.

Número de insectos atropellados por los coches que circulan por un tramo de 1 km en una hora

Hay grandes diferencias según las localidades. En zonas con gran cantidad de insectos (León y Valencia) las cantidades atropelladas son elevadas (alrededor de 45.000 por km y hora) y en zonas con menor cantidad de insectos el número de atropellos se reduce a entre casi 4.000 hasta 13.000 (figura 4).

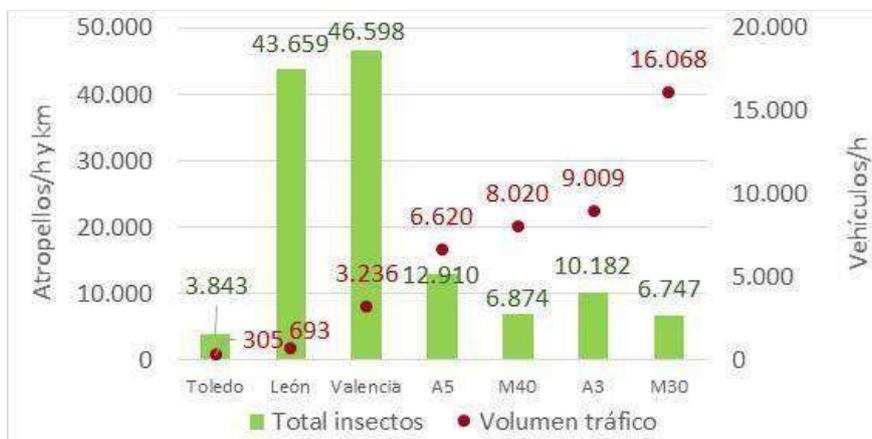


Figura 4. Estima del número de insectos atropellados en los tramos estudiados.

### Relación del número de insectos atropellados con la intensidad de tráfico

Los resultados del muestreo y los datos del volumen de tráfico se muestran en la tabla 3.

Ubicación	Carretera	Vehículos/h	Nº de insectos	Total de insectos
Valencia	Autovía A7	3236	100	191
	2 viales rurales no pavimentados	< 1	91	
Toledo	Autovía A40	305	31	143
	2 viales rurales no pavimentados	< 1	112	
León	Autovía A231	693	219	1098
	2 viales rurales no pavimentados	< 1	879	
<b>Subtotal en tramos rurales de autovías y viales no pavimentados</b>				<b>1432</b>
Madrid	Salida A5	6620	13	13
	Autovía M40	8020	6	6
	Salida A3	9009	8	8
	Autovía M30	16068	3	3
<b>Subtotal en tramos de autopistas urbanas</b>				<b>30</b>
<b>TOTALES</b>				<b>1462</b>

Tabla 3. Volumen de tráfico y resultados de los muestreos.

El gráfico de dispersión entre el número de insectos/km y el volumen de tráfico (figura 5) indica que en volúmenes de tráfico inferiores a 700 vehículos/h intervienen factores distintos al tráfico. En el resto de los casos el número de insectos recogidos disminuye a medida que aumenta el volumen de tráfico.



Figura 5. Abundancia de insectos en la autovía frente al volumen de tráfico.

Al analizar el porcentaje que representa cada orden dentro de su comunidad, se comprueba que la tendencia de *Hymenoptera* es opuesta a la de *Diptera*, ya que en los primeros se tienden a reducir las capturas al aumentar el tráfico y, al contrario, en *Diptera* aumentan, es decir, cuanto más tráfico tienden a atropellarse más *Diptera* (figura 6). Sin embargo, en volúmenes de tráfico elevados se

reduce progresivamente el porcentaje de *Hymenoptera* y sigue aumentando el número de capturas de *Diptera*.

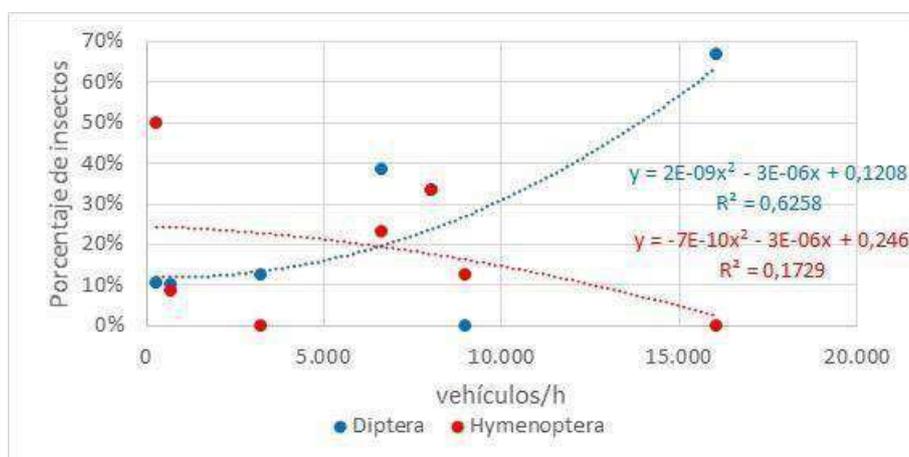


Figura 6. Porcentaje de *Hymenoptera* y de *Diptera* dentro de la autovía frente al volumen de tráfico.

### Discusión y Conclusiones:

Los métodos convencionales para estudiar el impacto de las carreteras presentan algunos inconvenientes. En las trampas fijas son principalmente:

- Al ubicarse la trampa fuera de la carretera, no es posible discriminar si los insectos capturados presentan un comportamiento “indiferente”, “sensible” o “variable” en respuesta a la presencia de la carretera.
- No es posible separar el efecto de los atropellos del efecto de borde.
- Los líquidos fijadores o los colores utilizados en las trampas fijas, además de precisar de un mantenimiento, pueden atraer o repeler diferencialmente a las especies de insectos, obteniendo muestras sesgadas.
- Integran una gran cantidad de información durante el tiempo en que se encuentran instaladas. Debe tenerse en cuenta que la comunidad de insectos está evolucionando a gran velocidad con el simple cambio horario (especies diurnas y especies nocturnas, por ejemplo), el estado meteorológico, fenómenos estocásticos (fumigaciones, quemaduras, incendios, etc.), etc. Por tanto, se superponen numerosas variables con una intensidad superior a la del impacto de la carretera.

Los inconvenientes más importantes de los transectos en los bordes de carreteras son:

- Dificultad para comparar los resultados de diferentes trabajos ya que se siguen metodologías heterogéneas (longitud de los tramos, tipos de tramos, marcaje/eliminación de individuos contabilizados, repeticiones, diseño de los muestreos, periodos de muestreo, etc.).
- Los resultados se sesgan hacia las especies más grandes y resistentes al impacto del atropello, que pueden llegar al borde de la carretera en mayor proporción que las más pequeñas o blandas. Las más pequeñas quedan adheridas a los vehículos y las más blandas son desechadas por el aplastamiento de las ruedas de los vehículos. Además, las especies pequeñas y oscuras se detectan con mayor dificultad.
- Elevada tasa de desaparición de los insectos atropellados, tanto por depredación de otros insectos, aves, micromamíferos, etc. como por arrastre por viento, lluvia, turbulencia de vehículos que circulan a gran velocidad, etc.

- Esta técnica suele centrarse en algún grupo de insectos, siendo abundantes los trabajos enfocados en el impacto sobre órdenes como *Lepidoptera*, *Coleoptera*, *Odonata* e *Hymenoptera*, sin embargo omiten Órdenes de insectos menos atractivos, como *Diptera*, *Hemiptera*, etc. El diferente comportamiento de estos grupos de insectos hace que cualquier generalización a la comunidad de insectos a partir de un determinado orden sea arriesgada.

Un error común que se ha observado en ambos tipos de muestreo es que tanto las trampas fijas como los transectos tienden a localizarse en puntos o tramos con una alta tasa de atropello. Como consecuencia se obtienen sobrestimaciones del número de atropellos en ámbitos territoriales mayores. Sin embargo, en la bibliografía se describen tramos de concentración de cruce en determinados grupos de insectos que utilizan el territorio de un modo selectivo, por ejemplo por la presencia de ciertos tipos de vegetación, determinados hábitats, relieve, etc.

Hay precedentes recientes similares a nuestra metodología de muestreo, lo que hace pensar que las investigaciones precisan de metodologías de muestreo directas de la comunidad de insectos de la carretera, por ejemplo [3], [4] y [5].

Nuestra metodología ofrece una serie de ventajas, principalmente:

- La muestra recogida es representativa de la comunidad presente durante el muestreo del tramo de la carretera. Lo más destacable es que es un muestreo directo y desde dentro de la carretera de los insectos voladores que en el momento del muestreo están utilizándola.
- Pueden recogerse muestras dentro de la carretera y en el exterior lo que permite discriminar qué insectos de los que se capturan atraviesan o no la carretera y en qué proporción, por tanto, hacen posible diferenciar el posible efecto borde de la carretera.
- La muestra se recoge activamente, sin sustancias atrayentes ni mediante colores, por lo que no se produce una selección de los insectos.
- El colector de insectos es robusto y apenas precisa de mantenimiento, más que la reparación de daños eventuales.
- Hay un control sobre el número de capturas de insectos, definiendo el tiempo o la longitud del muestreo más adecuados.
- En poco tiempo se recorre una distancia representativa de la carretera a escala de paisaje, de modo que los muestreos pueden configurarse en función del estado meteorológico y evitando la intervención de fenómenos aleatorios.
- Los resultados se pueden expresar en unidades como el número de insectos atropellados/km, lo que facilita la comparación entre estudios diferentes.
- No hay sesgo de los insectos a causa de su tamaño o resistencia al impacto, ya que se recogen todos los insectos que interceptan su vuelo con el paso del colector. Tampoco hay pérdida de muestra por desaparición de los insectos colectados.
- A lo largo de un tramo de muestreo se integran tramos con diferentes tasas de cruce de insectos, resultando a esta escala muestras representativas del impacto real de la carretera sobre estas comunidades.

Por tanto, el colector de insectos constituye un sistema de muestreo más satisfactorio que los métodos fuera de la carretera.

Por otra parte, los resultados obtenidos en este estudio indican que a mayor volumen de tráfico, menor es la abundancia de insectos. Esta relación se establece porque, aunque el número de atropellos por vehículo es menor, un número creciente de vehículos en la carretera implicará que el número total de atropellos también se incremente. Martin et al. (2018) [4] describen esta misma conclusión a partir de las capturas en los paneles adhesivos.

En el total de insectos se observa una relación lineal entre el número de atropellos y el volumen de tráfico. La curva de atropello de *Diptera* y de *Hymenoptera* son muy diferentes a causa de su modo igualmente diferente de explotar el territorio.

En el Orden *Diptera* (que incluyen algunas familias importantes de polinizadores, como Syrphidae - o moscas cernidoras- o Bombyliidae) la cantidad de atropellos tiene una relación lineal con el tráfico. Sin embargo en *Hymenoptera* (abejas, abejorros), el número de atropellos aumenta con el tráfico hasta que, en torno a los 7.000 vehículos/h (o por la anchura de la carretera o por ambos, no sabemos), empiezan a dejar de cruzar, hasta hacerse nulo el número de atropellos (figura 7).

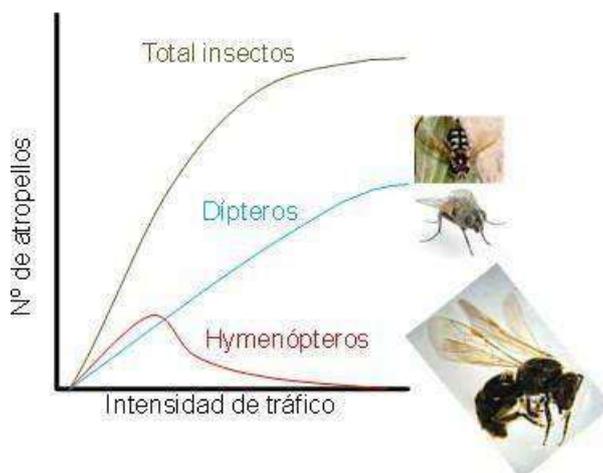


Figura 7. Esquema de las relaciones del número de atropellos del total de insectos y de *Diptera* e *Hymenoptera* con la carga de tráfico.

#### Referencias / Bibliografía:

- [1] “Ministry of Transport, Mobility and Urban Agenda,” *Traffic mapping*, 2017. <https://www.mitma.es/carreteras/trafico-velocidades-y-accidentes-mapa-estimacion-y-evolucion/mapas-de-trafico/2017> (accessed Jul. 14, 2020).
- [2] “Madrid City Council open data portal,” *Traffic. Annual average daily intensity by sections*, 2017. <https://datos.madrid.es/portal/site/egob/menuitem.c05c1f754a33a9fbe4b2e4b284f1a5a0/?vgnextoid=4a2e4207bb864410VgnVCM1000000b205a0aRCRD&vgnnextchannel=374512b9ace9f310VgnVCM100000171f5a0aRCRD&vgnnextfmt=default> (accessed Jul. 14, 2020).
- [3] A. Vinchesi, D. Walsh, and C. Broadhead, “Assessing transportation impacts to Alkali Bees (*Hymenoptera*: Halictidae) and Alfalfa seed production in Southeastern Washington State,” *Am. Entomol.*, vol. 64, no. 1, pp. 52–58, 2018, doi: 10.1093/ae/tmy011.
- [4] A. E. Martin, S. L. Graham, M. Henry, E. Pervin, and L. Fahrig, “Flying insect abundance declines with increasing road traffic,” *Insect Conserv. Divers.*, vol. 11, no. 6, pp. 608–613, Nov. 2018, doi: 10.1111/icad.12300.
- [5] P. Tinsley-Marshall, A. Skilbeck, and A. Riggs, “Monitoring of ecosystem function at landscape-scale demonstrates temporal difference in invertebrate abundance in Kent and South-East England,” *Rep. Kent Wildl. Trust Maidstone*, pp. 1–4, 2020, [Online]. Available: <https://www.kentwildlifetrust.org.uk/sites/default/files/2020-02/Bugs Matter report website version.pdf>.

**CUANTIFICACIÓN DE EFECTOS INDIRECTOS:  
EFECTOS SINÉRGICOS SOBRE LA AVIFAUNA ESTEPARIA Y SENSIBLE EN PROYECTOS SOLARES FOTOVOLTAICOS.  
APLICACIÓN A ESTUDIO DE CASO EN MUNICIPIOS DE GRANADA**

González López, J.J.; Luque Romero, E.; Ruiz Díez, A.  
Análisis Territorial y Ambiental, S.L.  
proyectos@territorial.es  
Sevilla

**Palabras clave:** EIA; Sinergias; GIS; Fotovoltaica; Líneas eléctricas; Esteparias; Avifauna Sensible.

**Resumen:**

La presente comunicación parte de la necesidad de establecer metodologías (basadas en modelos GIS) que permitan dotar de objetividad (y cuantificar y/o cualificar) los efectos indirectos relativos a la afectación de la avifauna en la implantación de nuevos proyectos solares fotovoltaicos.

Se plantean dos aproximaciones para el análisis de: i. plantas solares fotovoltaicas, estudiando la pérdida de hábitat asociada conforme al concepto de superficie mínima viable; y ii. líneas eléctricas aéreas de alta tensión, valorando las relaciones geométricas y su incidencia potencial en la posible colisión de especies de aves sensibles.

**Introducción:**

La consideración de los efectos acumulativos y sinérgicos resulta obligatoria, de acuerdo con la normativa básica de evaluación ambiental en España (artículo 35.1.c de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental).

Por otro lado, los Hitos establecidos en el artículo 1 del Real Decreto Ley 23/2020, de 23 de junio, por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica, han supuesto en el ámbito de la promoción de instalaciones para el aprovechamiento de energía solar fotovoltaica (y de energía eólica) una acumulación de proyectos a nivel estatal, coincidiendo en muchos casos en las proximidades de determinadas subestaciones eléctricas (REE).

De este modo, una vez superado el análisis de alternativas para la elección del mejor emplazamiento posible para cada uno de los proyectos (valorando sus efectos directos e indirectos, individualmente), procede incorporar la valoración en términos de sinergias (varios proyectos tramitándose, aprobados y/o construidos del entorno) en el ámbito de la avifauna (como factor que recoge habitualmente la mayor probabilidad de sufrir efectos significativos). Se pone así de manifiesto la necesidad de elaborar una metodología eficaz y reproducible a escala de proyecto, que cualifique y cuantifique conceptos necesarios como la pérdida de Hábitat Estepario Disponible (H.E.D.) – área existente para asegurar el mantenimiento y supervivencia de las especies de aves esteparias – y los efectos sinérgicos de las infraestructuras de evacuación de energía eléctrica asociadas a los proyectos solares fotovoltaicos sobre aves “sensibles” o “focales”, concluyendo el grado de afectación/impacto en cuanto al riesgo de colisión.

A efectos metodológicos, se aplica el enfoque establecido por una de las prácticas mejor calificadas para el análisis de efectos indirectos y acumulativos descritos por la Comisión Europea (1999) en el documento *“Study on the Assessment of Indirects and Cumulative Impacts, as well as Impacts Interactions”*: la metodología *“Seven steps to Cumulative Impacts Analysis”* (Clark. 1994).

### **Material y Métodos:**

#### **Material y fuentes de información espacial:**

Con objeto de aplicar la información adecuada, en términos de abundancia, duración y comparabilidad, y poder extraer conclusiones solventes, adicionalmente a los resultados del trabajo de campo específico realizado (Estudio Anual de Avifauna) se ha analizado la información disponible en:

- Las distintas fuentes documentales cartográficas puestas a disposición del público en general en virtud de la Ley 27/2006, de 18 de julio, por la que se regulan los derechos de acceso a la información, de participación pública y de acceso a la justicia en materia de medio ambiente: La Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM) ordenada por el Decreto 347/2011, de 22 de noviembre; el centro de descargas de la Infraestructura de datos espaciales (IDE) del MITECO, conforme ala Ley 14/2010, de 5 de julio.
- La recuperación del trabajo de campo derivado de otros proyectos con incidencia en el territorio y en el medio natural coordinados por Análisis Territorial y Ambiental; principalmente relacionados con otros proyectos de promoción de energías renovables.
- La incorporación de las observaciones realizadas por diferentes “colectivos” relacionados con el Medio Natural [Información de los Planes Técnicos de Caza de los cotos afectados por el proyecto; Entrevistas a Agentes de Medio Ambiente de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible; Comunicación oral de ornitólogos de la comarca; Información relevante publicada en la plataforma EBIRD; Avibase (The World Bird Database); GBIF (Global Biodiversity Information Facility); Movebank for animal tracking data; S.I.A.R.E. Servidor de Información de Anfibios y Reptiles de España; Enciclopedia virtual de los vertebrados españoles; ITIS. Integrated Taxonomic Information System; EUNIS. European Nature Information System; Publicaciones temáticas de administraciones competentes en materia de medioambiente]

#### **Metodología aplicada:**

Para el análisis de los efectos sinérgicos de las plantas solares fotovoltaicas sobre la avifauna, estudiamos la pérdida de hábitat asociada conforme al concepto de superficie mínima viable (concepto “Hábitat Estepario Disponible”). La generación de un modelo de matriz territorial de resistencia, a través de técnicas de evaluación multicriterio, basado en variables de interés para la comunidad de aves esteparias (usos del suelo, plan de recuperación y conservación de aves esteparias, valores de pendientes, hidrografía, infraestructuras eléctricas, carreteras y ferrocarriles, edificaciones, infraestructuras de transporte de energía, vías pecuarias y caminos), genera lo que denominamos matriz de Hábitat Estepario (H.E.), y permite la superposición de los siguientes ámbitos de estudio: i. Recintos vallados de la planta solar fotovoltaica propuesta; ii. Área de

influencia de 10 km en torno a la planta; sobre dicha matriz, generando así fragmentos de hábitat óptimo (zona-01), ocasional (zona-0), degradado (zona-03), muy degradado (zona-04) y/o antrópico (zona-05), según el valor de las celdas ráster de la matriz. El umbral de hábitat óptimo se establece por encima de 5 hectáreas de superficie de fragmento.

Para poder evaluar los efectos derivados del Proyecto a medio y largo plazo, se parte de la valoración de la situación previa a la implantación del Proyecto – en el contexto de la fase de evaluación ambiental – FASE PRE-CONSTRUCCIÓN (Before), situación actual sin implantación de proyecto solar, y del futuro Plan de Vigilancia y Seguimiento Ambiental, para la FASE POST-CONSTRUCCIÓN (After) escenario contemplado tras la construcción de la instalación solar fotovoltaica. La interacción entre estos dos escenarios nos permitirá evaluar, con rigor y coherencia, los impactos asociados a las instalaciones. Los fragmentos obtenidos y el análisis cartográfico y estadístico permite en este caso cuantificar la degradación y transformación del hábitat idóneo para la distribución de avifauna sensible en el entorno de estudio de la planta solar fotovoltaica.

En el caso del análisis de los efectos indirectos en el ámbito de líneas eléctricas de evacuación aéreas de alta tensión sobre las aves “sensibles”, en base a la tipología de la infraestructura de evacuación y su altura es posible establecer una categorización en relación a cómo afecta al hábitat de la avifauna, en términos de conexión entre poblaciones (movimientos migratorios y locales). Se valoran las relaciones geométricas y su incidencia potencial en la posible colisión de especies de aves “sensibles”, además de las relaciones existentes entre las infraestructuras de evacuación y las líneas eléctricas existentes en el entorno, dado que aportan un grado de peligrosidad adicional en el análisis de estos efectos sinérgicos. Se ha de tener en cuenta igualmente, las particularidades de las especies: estado de conservación, el carácter gregario, la condición de migradora, altura de vuelo habitual (no se han encontrado estudios específicos en este sentido), los tipos de vuelo, así como la fisionomía del ave.

Para la identificación de especies “sensibles” se generan clúster a partir de datos geográficos puntuales de presencia de especies. Estos clústeres se representan como capas vectoriales hexagonales donde se reúnen aquellas especies de aves “sensibles” con las mismas características y en relación a un radio de distancia entre las geometrías puntuales anteriormente citadas constante.

En estos clúster se puede fijar un punto de referencia o representante para tratar este conjunto de objetos como uno solo (Figura 1).

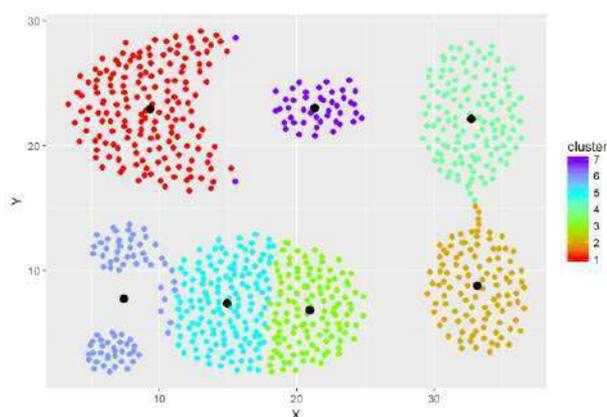


Figura 1. Ejemplo de siete clústeres con sus centroides, en el que cada uno de ellos recoge los puntos con características similares y dentro de un radio de distancia.

De este modo se utiliza el clúster para nombrar a un conjunto finito de aves de la misma especie que se muevan en grupo con un mismo sentido y dirección. El centroide de estos clúster se utiliza para tener un punto de referencia desde el cual proyectar líneas, haciendo referencia a la movilidad que tiene ese conjunto de aves, entre clústeres de la misma especie de ave “sensible” y que será representada por una recta. Estas geometrías líneas intra-especie

describen los desplazamientos estimados (vuelos) entre aves de la misma especie en el entorno de las infraestructuras de evacuación. Las intersecciones de estas geometrías con la geometría de la

infraestructura de evacuación generan los puntos de cruzamiento de las aves con la nueva línea eléctrica durante sus movimientos locales, desde su despegue hasta su origen, recopilándose la información relativa a la distancia existente entre su punto de despegue y la línea eléctrica y viceversa, dependiendo del sentido de vuelo del ave. En base a la longitud del desplazamiento se valora el grado de riesgo potencial de colisión con la infraestructura. Cuanto mayor sea la distancia del desplazamiento desde el punto de despegue hasta su cruce con la infraestructura, menor el grado de afección, considerándose de este modo bajo para distancias mayores de 4.500 metros, medio para distancias entre 1.500 y 4.500 metros y alto para distancias inferiores a 1.500 metros.

A las características particulares de cada infraestructura eléctrica, se ha de sumar la interacción entre éstas. Así, la proximidad, cruces y diferencias de altura (se recomienda reducir el número de planos de colisión: número de conductores separados verticalmente), son variables que requieren su integración para evaluar los efectos sinérgicos de estas infraestructuras sobre las aves. Se analizan así las relaciones geométricas o posiciones relativas (cruzamientos, intersecciones, paralelismos y otras relaciones) entre el trazado propuesto de las futuras infraestructuras de evacuación y las líneas aéreas eléctricas y/o de telecomunicaciones existentes en el área de influencia de 10 km alrededor de la futura infraestructura, procediéndose a la intersección de la capa en formato vectorial (proyectada al plano XY) de las líneas eléctricas existentes en el área local de estudio pertinente con el ámbito del área de influencia indicado anteriormente, obteniéndose así las líneas eléctricas existentes que poseen algún tipo de relación con la futura infraestructura. Posteriormente para obtener, de forma específica, los posibles cruzamientos que afectan a las líneas proyectadas, se interseca la capa con la geometría lineal de dichas infraestructuras con la obtenida en el paso anterior. Se considera, en general, que las interacciones con líneas de reducido voltaje 15(20) y 66 kV entrañan peligrosidad por la diferencia de altura (Eje Z) en el plano vertical (Planos XZ o YZ) frente a la línea proyectada, siendo reducida (incluso positiva, al estar dotada de señalización anticolidión) en las líneas de similares características (132, 220, 400 kV). Asimismo, se estima que ángulos “perpendiculares”, es decir, próximos a los 90, suponen mayor riesgo de colisión que ángulos menores o mayores, agudos u obtusos, respectivamente. Todos estos análisis espaciales y el cálculo de nueva información en este caso, se ha realizado a través de consultas espaciales diseñadas en PostGIS (extensión espacial del administrador PostgreSQL).

### **Resultados:**

Se han aplicado las metodologías descritas al ejemplo de caso de estudio de un proyecto solar fotovoltaico y sus infraestructuras eléctricas de evacuación de la energía generada hasta la subestación de la Red Eléctrica Española (REE) con conexión otorgada, localizado en dos términos municipales de Granada (Com. Autónoma de Andalucía).

Como se ha indicado en la sección anterior, para la cuantificación de los efectos significativos sobre las aves esteparias, derivados de la planta solar fotovoltaica, considerándose las características específicas del medio, y más allá de los efectos directos, estos se deben evaluar según la magnitud del deterioro de los hábitats y las alteraciones sobre las especies. De este modo se aplica la metodología para cuantificar la pérdida del Hábitat Estepario Disponible (H.E.D).

Se muestra a continuación el escenario de fragmentos existentes de Hábitat Estepario (H.E.) en el caso de estudio para el ámbito de 10 km establecido (ámbito ii.) metodológicamente, así como aquellos categorizados como H.E.D (definido como el cómputo de fragmentos de hábitat óptimo y ocasional de la matriz territorial).

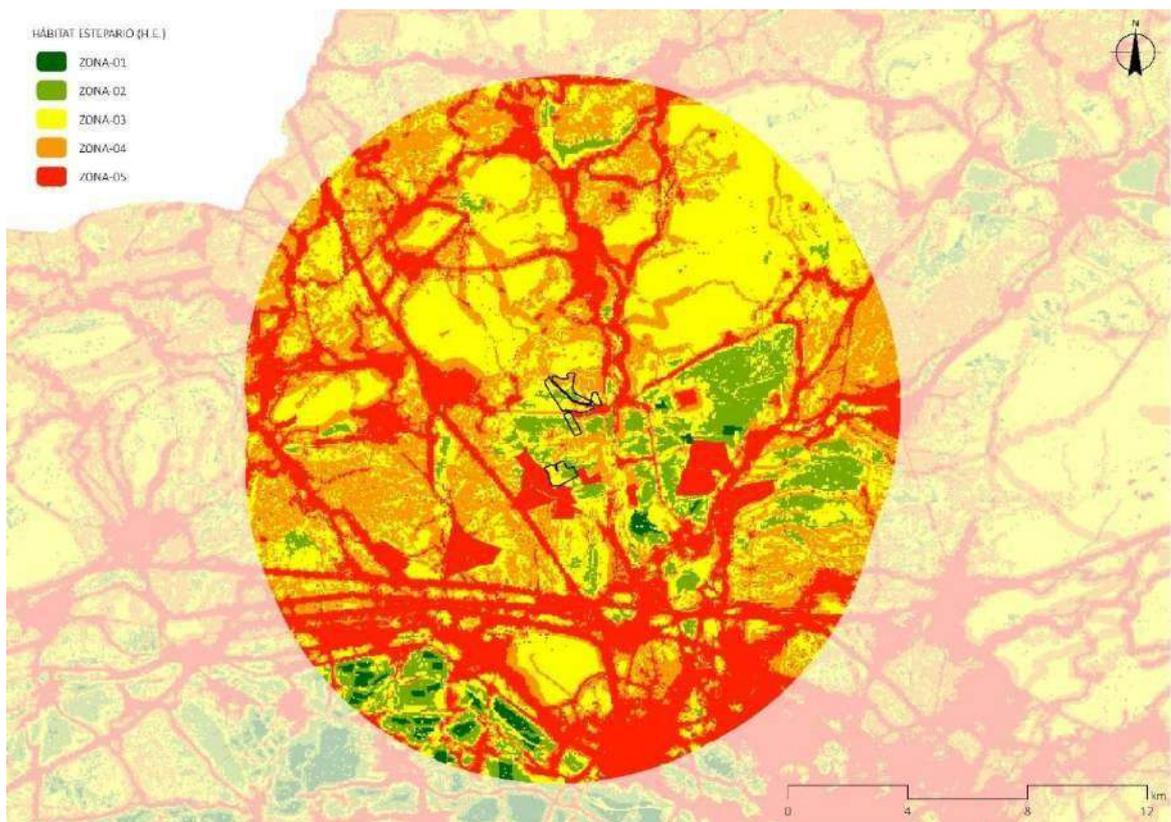


Figura 2. Zonificación Hábitat Estepario caso de estudio.

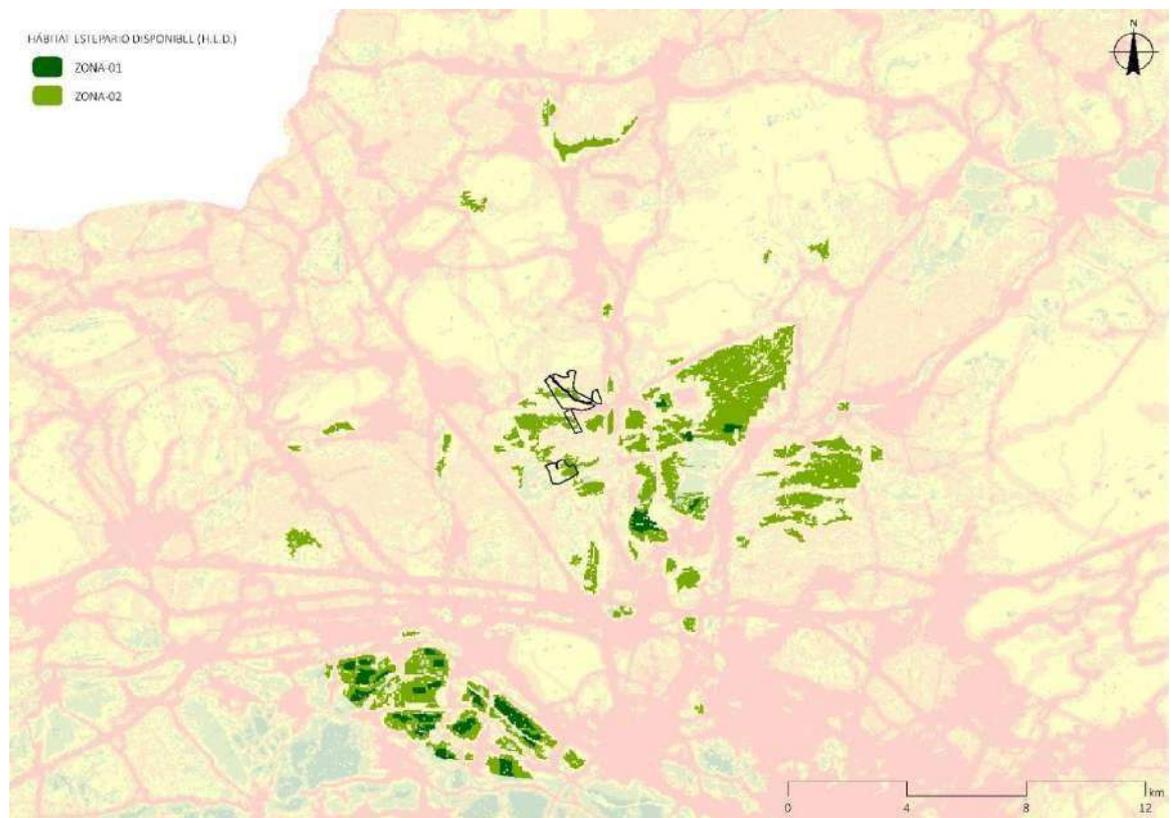


Figura 3. Hábitat Estepario Disponible caso de estudio.

La intersección del ámbito i. (recintos de la planta solar propuesta) con la matriz de Hábitat Estepario, permite obtener valores que muestran el escenario de Hábitat Estepario Disponible antes y después de la instalación de la planta (tabla 1 y tabla 2). El tratamiento cartográfico y espacial de esta información permite la obtención de los efectos sinérgicos tanto directos como indirectos generados, traducidos en la pérdida de H.E.D en el primer caso (tabla 3), y en la transformación y degradación de fragmentos de H.E.D (zonas 01 y 02) del entorno de planta a la categoría posterior, en el segundo caso, al reducirse su superficie continua por debajo del umbral de 5 hectáreas (figura 4).

ZONA	N.º FRAGMENTOS	SUP (ha)	% TOTAL
ZONA-01	0	0,00	0,00
ZONA-02	5	42,55	22,45
ZONA-03	69	92,82	48,99
ZONA-04	33	50,62	26,71
ZONA-05	9	3,50	1,85
<b>Total</b>	<b>116</b>	<b>189,48</b>	<b>100,00</b>

Tabla 1. Resumen valores obtenido escenario "Before".

ZONA	Nº FRAGMENTOS	SUP (ha)	DIRECTO
ZONA-01 HÁBITAT	0	0,00	-
ZONA-02 OCASIONAL	5	42,55	A ZONA-05
ZONA-03 DEGRADADO	69	92,82	A ZONA-05
ZONA-04 MUY	33	50,62	A ZONA-05
ZONA-05 ÁNTRÓPICO	9	3,50	-
<b>Total general</b>	<b>116</b>	<b>189,48</b>	-

Tabla 2. Resumen valores obtenido escenario "After".

	HED BEFORE	HED AFTER
N.º FRAGMENTOS	115	115
SUP TOTAL	3.276,72	3.234,17
SUP. MEDIA	15,22	28,12
DESV. TÍPICA	27,46	29,59

Tabla 3. Resumen valores obtenidos en ambos escenarios. Pérdida de H.E.D.

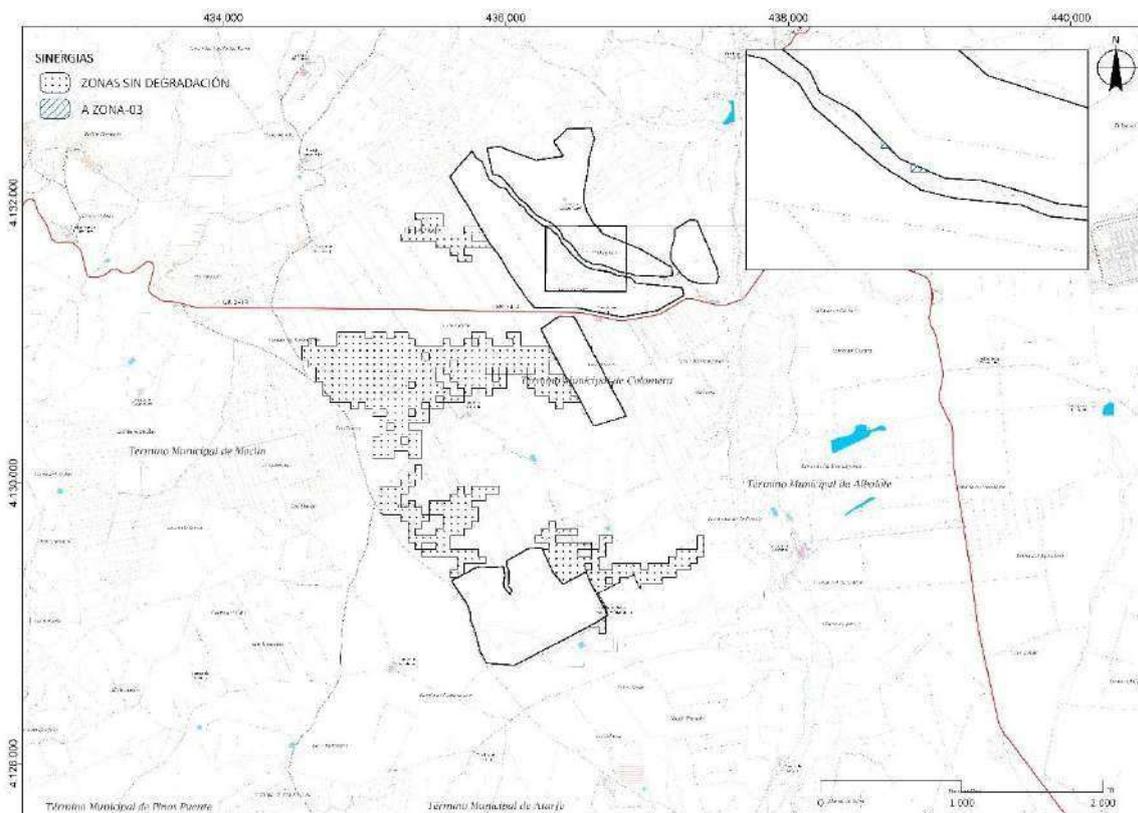


Figura 4. Resultados cartográficos efectos sinérgicos. Pérdida de H.E.D.

Para el caso del análisis de los efectos indirectos generados por infraestructura eléctrica área de evacuación sobre las aves “sensibles”, se obtiene la siguiente información y resultados.

Se ha identificado en el ámbito de 10 km alrededor de la infraestructura las siguientes especies de aves “sensibles”: cernícalo primilla (*Falco naumanni*), buitre leonado (*Gyps fulvus*), águila real (*Aquila chrysaetos*) y águila perdicera (*Aquila fasciata*), y generado los posibles desplazamientos intra-especie (figura 5). Las intersecciones de estas geometrías con la geometría de la infraestructura de evacuación generan los puntos de cruzamiento de las aves con la nueva línea eléctrica durante sus movimientos locales, valorando y cualificando así el riesgo potencial de colisión de estas aves “sensibles”. En la tabla 4 se resume una muestra de los cruzamiento obtenidos para la especie águila perdicera y el riesgo establecido en ellos.

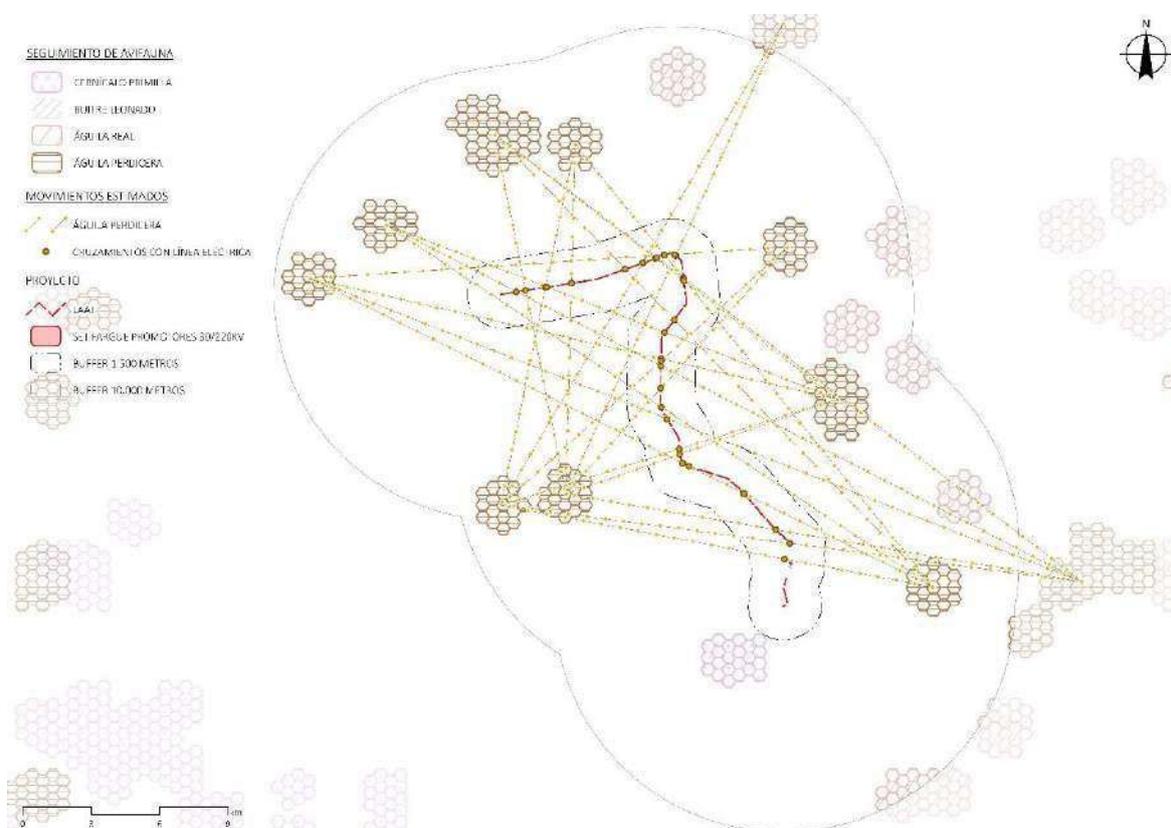


Figura 5. Modelización movimientos estimados de especies “sensibles” en el entorno de la infraestructura de evacuación.

ESPECIE	COORD-X CRUCE	COORD-Y CRUCE	DIST (m) DESPEGUE-CRUCE LINEA DIRECCIÓN 1	DIST (m) DESPEGUE-CRUCE LINEA DIRECCIÓN 2	LONGITUD DESPLAZAMIENTO	RIESGO
Águila perdicera ( <i>Aquila fasciata</i> )	437.359	4.130.673	6.441,05	28.009,43	34.450,48	BAJO
	437.767	4.130.739	7.039,58	9.195,57	16.235,15	BAJO
	438.652	4.130.876	6.457,25	9.849,27	16.306,52	BAJO
	438.702	4.130.884	7.578,90	13.699,68	21.278,58	BAJO
	439.782	4.131.052	6.154,16	9.338,43	15.492,59	BAJO
	442.144	4.131.672	8.257,01	19.565,47	27.822,49	BAJO
	442.925	4.131.954	12.279,95	12.410,59	24.690,54	BAJO

Tabla 4. Muestra de información y resultados obtenidos de siete relaciones geométricas de cruzamiento entre los posibles desplazamientos de águila perdicera y la infraestructura de evacuación propuesta.

El análisis del grado de peligrosidad para estas especies de avifauna “sensible” en base a la interacción entre la línea eléctrica proyectada y el resto de líneas aéreas existentes en el ámbito de 10 km alrededor de la línea, genera y estudia las relaciones geométricas posibles entre ellas (cruzamientos, paralelismos y otras relaciones). Se muestra, en la tabla 5, una muestra de los cruzamientos con otras líneas, y en la tabla 6, de otras relaciones, entendiendo estas cuando no se dan ni cruzamientos y paralelismos.

CRUCE	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS CRUCE		ÁNGULO (GRADOS)	TIPOS DE LÍNEAS INTERSECTADAS	GRADO DE AFECCIÓN PARA LA AVIFAUNA	
		X	Y			DIF. ALTURA	ÁNGULO
A1	CRUCE CON LÍNEA AÉREA 400 kV (CAPARACENA-HUEJENA)	444.433	4.124.309	122,54/57,46	LÍNEAS AÉREAS DE 400 kV	BAJA	ALTA
B1	CRUCE CON LÍNEA AÉREA 220 kV DE DOBLE CIRCUITO (CAP-FARGUE)	444.518	4.124.076	112,29 /67,71	LÍNEAS AÉREAS DE 220 kV	BAJA	ALTA
B2	CRUCE CON LÍNEA AÉREA 220 kV DE DOBLE CIRCUITO (CAP-FARGUE)	449.142	4.117.397	147,304/32,96		BAJA	ALTA
C1	CRUCE CON LÍNEA AÉREA 132 kV (CAPARACENA-FARGUE)	449.064	4.116.754	86,97/93,03	LÍNEAS AÉREAS DE 132 kV	BAJA	MEDIA
D1	CRUCE CON LÍNEA AÉREA 66 kV (ATARFE-CAMPILLO-IZNALLOZ)	443.653	4.132.217	93,21/86,79		ALTA	MEDIA
D2	CRUCE CON LÍNEA AÉREA 66 kV (ATARFE-CAMPILLO-IZNALLOZ)	444.668	4.131.650	119,57/60,43		ALTA	ALTA

Tabla 5. Muestra del análisis de los cruzamientos entre la Infraestructura de evacuación proyectada y las líneas aéreas existentes.

RELACIÓN	DESCRIPCIÓN	DISTANCIA MEDIA (m)	ÁNGULO MEDIO (GRADOS)	GRADO DE AFECCIÓN PARA LA AVIFAUNA
R1	Relación con línea aérea 220 kV "ATARFE-OLIVARES"	7.882,12	100,91	BAJA
R2	Relación con línea aérea 132 kV "FARGUE-VALCAIRE"	603,51	23,70	MEDIA
R3	Relación con línea aérea 66 kV "FARGUE-JUNCARIL"	953,25	53,75	ALTA

Tabla 6. Muestra de otras relaciones geométricas establecidas entre Infraestructura de evacuación y líneas aéreas existentes.

### Discusión y Conclusiones:

Las metodologías descritas en la presente comunicación ponen de manifiesto la necesidad de analizar, cuantificar y cualificar los efectos sinérgicos generados de forma indirecta sobre la avifauna “sensible” y la avifauna esteparia como consecuencia de la implantación de proyectos solares fotovoltaicos y sus infraestructuras de evacuación de energía asociadas. La pérdida de hábitat y el riesgo de colisión asociados a la presencia de estos proyectos, son factores clave para el estudio de la afección indirecta en las conexiones entre poblaciones de aves, sus movimientos migratorios y locales.

Los modelos de distribución de especies y hábitats se basan en la actualidad en distintas aplicaciones estadísticas muy complejas para su utilización a nivel de gestión administrativa. Pese a que el ajuste de éstas es muy superior al desarrollado en este Estudio, nuestra iniciativa presenta una aproximación válida para la cuantificación de la calidad del hábitat en los plazos definidos para el procedimiento administrativo de EIA y AAU. La realización de estudios de campo específicos y/o de programas de seguimiento en un espacio-tiempo adecuado, con anterioridad a la realización del proyecto, son consideraciones clave para mejorar los datos disponibles y enriquecer la información empírica y teórica para las especies de avifauna tanto esteparia como sensible.

Tanto la escala de análisis utilizada como la resolución del modelo de resistencia territorial generado (modelo de hábitat estepario), permite contemplar aquellas variables que, pese a no tener una extensión considerable en el territorio, son claves para la selección del hábitat de la especie (p.e. tendidos eléctricos y carreteras). Del mismo modo, facilita considerablemente el análisis de efectos sinérgicos en cuanto al efecto comparativo, dotando de reproducibilidad y eficacia, al poder introducir nuevas variables o modificar las existentes con agilidad y rapidez.

Se pone de manifiesto la utilidad e importancia del uso de los GIS, y en este caso, de sistemas gestores de bases de datos como PostgreSQL con su extensión espacial PostGIS. Con esta última

herramienta se han diseñado consultas automatizadas y reproducibles a cualquier proyecto, que permiten la generación de información tanto espacial como alfanumérica que conforman los resultados para la cuantificación y cualificación de los efectos sinérgicos indirectos. El procedimiento GIS ha permitido integrar todas las variables necesarias en la modelización de este agroecosistema.

Se han incorporado, mediante criterio de experto, aquellos valores cuantitativos que representan el grado de adecuación de los distintos factores a la ecología de las especies de avifauna esteparias que, si bien, se basa en decisiones parcialmente subjetivas, suponen una asunción ineludible del modelo.

Para el caso de estudio utilizado en la presente comunicación se han obtenido las siguientes conclusiones en base a los resultados obtenidos tras la aplicación de las metodologías desarrolladas y según las diferentes aproximaciones:

- En el ámbito de los efectos sinérgicos sobre las aves esteparias generados por planta solar fotovoltaica, el análisis del Hábitat Estepario (HE) existente previo a la instalación del proyecto indica que se trata de un medio transformado al contener en términos porcentuales, mayor superficie de hábitat degradado (48,99 %) tanto en el ámbito de los recintos vallados como en el entorno de 10 km alrededor del proyecto. Se afirma, de este modo y previa comparación y validación con el trabajo de campo efectuado y las diferentes fuentes bibliográficas y cartográficas que estudian la distribución de este grupo de aves, que ni el entorno directo ni la propia superficie establecida para la instalación del proyecto son hábitats óptimos para las especies de avifauna esteparia habituales, y, por tanto, la implantación del proyecto no generará, en este caso, una pérdida de hábitat significativa.
- En el ámbito de estos efectos sobre la avifauna sensible debido a la presencia de la infraestructura aérea de evacuación de energía, que suponen un riesgo potencial de colisión, el análisis de las relaciones geométricas entre la infraestructura propuesta y las existentes en el área de estudio, se han encontrado un total de 18 cruzamientos y una relación que entrañan riesgo de colisión alto, suponiendo cerca de un 55 % de probabilidad de colisión para las especies sensibles inventariadas. No obstante, el análisis individualizado realizado a la especie focal (águila perdicera) con la metodología desarrollada basada en la modelización de los vuelos y su cruzamiento con la infraestructura, arroja un riesgo de colisión bajo en todas las interacciones, debido a las grandes distancias de desplazamiento desde el punto de despegue de la especie, hasta su cruce con la infraestructura. Se concluye, por tanto, que, en este caso de estudio, y a pesar de que la presencia futura de la infraestructura de evacuación presenta una probabilidad considerable de afección sobre la avifauna, el análisis pormenorizado de la especie perjudicada a priori, establece un riesgo bajo de colisión. Además, estos efectos sinérgicos indirectos serán mitigados convenientemente con medidas anticolidión y la señalización de las líneas eléctricas con índices de siniestralidad elevados.

**Referencias / Bibliografía:**

- Clark, R. 1994. *Cumulative Effects Assessment: A Tool for Sustainable Development*. Impact Assessment 12, 319–331.
- EC DG XI Environment, Nuclear Safety & Civil Protection. 1999. *Study on the Assessment of Indirect and Cumulative Impacts as well as Impact Interactions*. Comisión Europea.
- MAPAMA. 2018. *Recomendaciones sobre la información necesaria para incluir una evaluación adecuada de repercusiones de proyectos sobre Red Natura 2000 en los documentos de Evaluación de impacto ambiental de la A.G.E.* Madrid.
- MITECO. 2019a. *Guía metodológica de evaluación de impacto ambiental en Red Natura 2000. Criterios utilizados por la Subdirección General de Biodiversidad y Medio Natural para la determinación del perjuicio a la integridad de Espacios de la Red Natura 2000 por afección a Hábitats de interés comunitario*. Versión enero 2019.
- MITECO. 2019b. *Recomendaciones para incorporar la evaluación de efectos sobre los objetivos ambientales de las masas de agua y zonas protegidas en los documentos de evaluación de impacto ambiental de la A.G.E.* Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid.

## ¿ESTÁ MEJORANDO LA CALIDAD DE LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL EN PARQUES EÓLICOS CON LA APLICACIÓN DE NORMATIVAS ESPECÍFICAS?

Guillén Lagos, M.<sup>1</sup>; Barrientos Yuste, R.<sup>1</sup>; Ibáñez Ulargui, C.<sup>2</sup>; González Álvarez, F.<sup>3</sup>; Alcalde Díaz de Cerio, JT.<sup>3</sup>; Tena López, E.<sup>2</sup>

1. Universidad Complutense de Madrid. [mariguil@ucm.es](mailto:mariguil@ucm.es)/[rafabarr@ucm.es](mailto:rafabarr@ucm.es). Madrid, España
2. Estación Biológica de Doñana. [ibanez@ebd.csic.es](mailto:ibanez@ebd.csic.es)/[etenalopez@gmail.com](mailto:etenalopez@gmail.com). Sevilla, España
3. SECEMU. [colica@secemu.org](mailto:colica@secemu.org)/[italcalde@gmail.com](mailto:italcalde@gmail.com). Madrid, España

**Palabras clave:** Parque Eólico; Esfuerzo de Muestreo; Estudio de Impacto Ambiental; Quirópteros; Normativa; Directrices.

### Resumen:

Para luchar contra el cambio climático, se ha incrementado el uso de energías renovables en España en los últimos años, siendo la energía eólica la más instalada. Pero su aplicación conlleva grandes problemas para la biodiversidad, afectando de manera muy notable a los quirópteros. Para ver el impacto de los parques eólicos sobre estos mamíferos se realizan Estudios de Impacto Ambiental. Dichos estudios deben seguir unas directrices específicas para quirópteros de la Asociación Española para la Conservación y el Estudio de los Murciélagos (SECEMU), y son evaluados por el Ministerio o por las comunidades autónomas en función de la potencia del parque eólico. Asimismo, en ciertas comunidades autónomas, se ha implantado una normativa que refuerza la incorporación de medidas que protegen a este grupo faunístico, aunque hasta ahora no se ha estudiado su eficacia. El objetivo de este trabajo consistió en revisar y comprobar si la calidad de los estudios mejora tras la aplicación de dichas directrices, evaluaciones y normativas. Se realizó una revisión bibliográfica de 44 Estudios de Impacto Ambiental en los que se estudió la influencia de la aplicación de la normativa autonómica, de las directrices de la Asociación Española para la Conservación y el Estudio de los Murciélagos y de la evaluación por parte del Ministerio o de las comunidades autónomas según una serie de variables que determinaban el esfuerzo de muestreo y la calidad de los Estudios de Impacto Ambiental. Del total, 20 de ellos (Castilla y León y Navarra) tenían implementada la normativa y los 24 restantes (Aragón y Galicia) carecían de ésta. La aplicación de la normativa supone cierta mejora en la calidad de los trabajos. Sin embargo, la aplicación de las directrices de la Asociación Española para la Conservación y el Estudio de los Murciélagos es más beneficiosa respecto a la calidad de los estudios. La evaluación de los informes por parte del Ministerio mejora sobre todo la partida presupuestaria destinada a quirópteros. Dado que la implantación de la normativa es reciente, habría que volver a evaluar su eficacia más adelante. También deberíamos sensibilizar a la población respecto a la problemática de conservación que supone la energía eólica para los murciélagos para exigir a las administraciones y empresas la realización de mejores estudios, puesto que los quirópteros son uno de los grupos faunísticos más importantes y, desgraciadamente, amenazados de España, además de escasamente conocidos por la sociedad.

### Introducción:

El cambio climático es una de las principales amenazas a las que se enfrenta el planeta en la actualidad, causado por el incremento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, principalmente dióxido de carbono, relacionado con actividades antrópicas tales como el empleo de combustibles fósiles y la deforestación **(1, 2)**.

Genera grandes variaciones en la distribución geográfica de biomas y en la extinción de muchas especies de flora y fauna, puesto que las respuestas de los organismos y de los ecosistemas a este fenómeno son muy variables y complejas, de tal forma que son pocas las especies que responden y se adaptan rápidamente a las nuevas condiciones climáticas, por lo que dichas especies serán más vulnerables y tenderán a desaparecer por estrés fisiológico, con la consiguiente pérdida de biodiversidad **(2, 3)**. El apoyo al desarrollo de las energías renovables es de máxima prioridad en la mayor parte de los países desarrollados del mundo debido tanto a la escasez creciente de los combustibles fósiles como al aumento del calentamiento global producido por su uso masivo **(4, 5)**. A nivel nacional, se estudió en 2019 que el 37,5% de la energía eléctrica generada en España procede de instalaciones de energía renovable, destacando la eólica con un 20,8% **(6)**.

La energía eólica se ha ido incrementando en los últimos años al ser una energía “limpia”, capaz de producir la misma cantidad de energía que la obtenida por hidrocarburos fósiles o por las centrales nucleares, lo que supone una supresión de contaminación, de desechos y de gasto de recursos **(7, 8)**. Sin embargo, la instalación de este tipo de energía supone impactos ambientales sobre la fauna importantes debido a la fragmentación y pérdida de hábitats **(9, 10)**. Durante la fase de funcionamiento del parque eólico, numerosas especies de aves y murciélagos se ven afectados por la colisión contra las aspas del aerogenerador o por electrocución con los cables de evacuación, así como por barotrauma (muerte inducida por las diferencias drásticas de presión que genera la rotación de las palas), pudiendo llegar a eliminar numerosas especies del área de afección del parque eólico **(11, 12, 13)**.

Debido a la gran preocupación surgida por el impacto causado por dichas instalaciones, previamente a su implantación y durante la fase de funcionamiento del mismo, se realizan los llamados Estudios de Impacto Ambiental. Sin embargo, dichos estudios se encuentran principalmente centrados en controlar la actividad y mortalidad de la avifauna, a pesar de que los quirópteros puedan presentar una mortalidad similar o incluso superior a la de las aves **(14, 15, 16, 17)**. En muchas regiones a nivel mundial, existen publicadas directrices específicas que indican los objetivos a seguir por los Estudios de Impacto Ambiental e incluyen los protocolos a realizar para mejorar los sistemas de control, supervisión y evaluación actuales empleadas por la Administración **(2)**. A nivel nacional, las directrices de referencia son las propuestas por la Comisión sobre Murciélagos y Parques eólicos de la Asociación Española para la Conservación y el Estudio de los Murciélagos (SECEMU). Cinco comunidades autónomas disponen de un protocolo propio de actuaciones (Navarra, Castilla y León, Principado de Asturias, Cataluña y La Rioja). Entre ellas, las comunidades de Navarra y Castilla y León elaboraron y distribuyeron en 2019 y 2020, respectivamente, normativas autonómicas preoperacionales, establecidas como normas internas y con referencias claras y específicas para quirópteros.

Sin embargo, en el resto de España no se aplican normativas específicas, por tanto, la eficacia, en cuanto al estudio de los quirópteros, no es homogénea a nivel nacional (18). Además, cada parque eólico genera una potencia diferente, y en función de la cantidad que éste genere, será evaluado por una entidad u otra. Concretamente, aquellos con una potencia superior a 50MW deben ser tramitados por el Ministerio, mientras que los de potencia inferior lo serán por la correspondiente comunidad autónoma (19).

### Material y Métodos:

Se realizó una revisión bibliográfica sistemática de 44 Estudios de Impacto Ambiental de un total de 4 comunidades autónomas, cuya selección se realizó en base, por un lado, que las comunidades autónomas presentaran un número elevado de Estudios de Impacto Ambiental para poder realizar la revisión bibliográfica y los análisis. Por otro lado, que existieran algunas comunidades autónomas con normativa autonómica específica para quirópteros (Navarra, Castilla y León, Principado de Asturias, Cataluña y La Rioja) y otras sin normativa (el resto; SECEMU, 2021). Por lo tanto, se seleccionaron Castilla y León y Navarra como comunidades autónomas con dicha normativa, y a Aragón y Galicia sin esta. Se repartieron 12 estudios en cada comunidad exceptuando Navarra que, debido a la escasa información existente en la misma, se limitó a 8 estudios (Figura 1).



**Figura 1:** Representación a nivel nacional de los 44 parques eólicos analizados de Galicia, Aragón, Castilla y León y Navarra, poseyendo ésta una menor representación muestral con 8 estudios que el resto de las comunidades autónomas, con 12 estudios seleccionados cada una.

Tras esto, se construyó una base de datos a partir de la documentación que conforman los Estudios de Impacto Ambiental centrándonos en los quirópteros y, en menor medida, en aves, para comparar la dedicación a cada grupo, así como para detallar las características de los parques

eólicos analizados. En total se extrajeron 52 variables que fueron seleccionadas en base a la metodología, los resultados obtenidos, la búsqueda bibliográfica y el plan a futuro.

De estas variables, se realizó una estadística comparativa inicial acerca del número de aerogeneradores presentes (“AERO”), la potencia del parque en megavatios (“MW”), el número de especies de quirópteros señalados en el inventario bibliográfico (“SBIB”) así como en el trabajo de campo del estudio (“SEIA”), y el número de especies nuevas aportadas en comparación con lo aportado en el inventario bibliográfico (“SNUE”); todo esto en función de la normativa, las directrices y la evaluación de cada estudio y de la comunidad autónoma estudiada. Asimismo, se realizaron una serie de tablas de contingencia con una serie de variables en función de la aplicación o no de la normativa, las directrices y la tramitación por Ministerio o por la comunidad autónoma.

En otro orden de ideas, se realizaron un total de 14 modelos lineales divididos en los 4 bloques mencionados anteriormente en función de una serie de variables.

### **Resultados:**

Los informes de impacto ambiental se ejecutaron en el año 2020. Los parques eólicos presentan una potencia media conjunta de 50,14MW. Los parques de las comunidades autónomas con normativa tuvieron una media de 57,76MW mientras que en las comunidades sin normativa fue de 43,78MW. La media de jornadas de trabajo en los Estudios de Impacto Ambiental realizados bajo la presencia de la normativa fue de 48, por 5 jornadas de media de los trabajos realizados en comunidades sin normativa. Además, se registró una media de 8 especies en estudios con normativa y 4 sin esta.

Las 12 tablas de contingencia resumidas en la Tabla 1 permiten resaltar que la mayor parte de las variables muestran valores significativos ante estudios tramitados por el Ministerio, seguido en menor medida por las directrices, mientras que no presentan ningún valor significativo (“NS”) aquellos estudios que presentan normativas:

Tabla 1

VARIABLES PREDICTORAS	VARIABLES RESPUESTAS		
	Normativa	Directrices	Ministerio
Trabajo campo	NS	NS	NS
Estudio actividad detectores	NS	NS	<0,01
PVA_Medidas quirópteros	NS	0,01	0,04
Refugios	NS	NS	NS
Información refugios	NS	NS	0,05
Refugios censo	NS	NS	NS
Quirópteros inf. principal	NS	NS	NS
Quirópteros inf. anexo	NS	NS	NS
Alternativas	NS	NS	NS
Medidas preventivas quirópteros	NS	NS	0,03
Vigilancia a futuro	NS	0,01	0,02

**Tabla 1:** Resumen tras la realización de las tablas de contingencia mediante el uso de los programas “R Commander” y “Statistica” de 11 variables en proporción a la normativa (“NRMTV”), la directiva (“DIR”) y el Ministerio (“Ministerio”), las cuales son fundamentales para resolver la situación de si la normativa, directrices o evolución mejora o no la calidad de los Estudios de Impacto Ambiental. Dicha tabla está conformada por una primera columna y fila donde se reflejan las variables seleccionadas como interacción en cada análisis de contingencia, de la segunda a la cuarta columna vienen reflejados los valores de significación.

Los modelos lineales resumidos en la Tabla 2 muestran que las variables respuesta “Normativa” y “Ministerio” apenas obtienen valores significativos con respecto a las variables predictoras mostradas. Sin embargo, la incorporación de las directrices, junto con la duración en horas de grabación de la actividad de poblaciones de quirópteros (“Nº horas actividad”) sí consiguen resultados más positivos.

Tabla 2

VARIABLES PREDICTORAS	VARIABLES RESPUESTAS					
	Ministerio	Normativa	Directrices	N.º jornadas trabajo	N.º horas actividad	N.º mes actividad
<b>Metodología</b>						
N.º jornadas trabajo	NS	NS	<0,01	-	-	-
Horas escucha	NS	NS	NS	-	-	-
N.º mes	NS	NS	NS	-	-	-
<b>Resultados</b>						
Esp. estudio	NS	NS	NS	NS	<0,01	NS
Esp. bibliografía	NS	0,01	NS	NS	NS	NS
Esp. nuevas	NS	NS	NS	NS	<0,01	NS
N.º pases vuelo	NS	NS	NS	NS	<0,01	NS
<b>Bibliografía</b>						
Págs. murcis inf. principal	NS	NS	NS	-	-	-
Págs. murcis anexo	NS	NS	0,02	-	-	-
Págs. aves inf. principal	NS	NS	NS	-	-	-
Págs. aves anexo	NS	NS	NS	-	-	-
Ref. bibliogr aves	NS	NS	NS	-	-	-
Ref. bibliogr. quirópteros	NS	NS	0,01	-	-	-
<b>Futuro</b>						
Vigilancia a futuro	<0,01	NS	<0,01	-	-	-

**Tabla 2:** Resumen estadístico obtenido tras analizar las variables respuestas a partir de modelos lineales por medio del empleo del programa estadístico “Statistica” de 14 variables predictoras plasmadas en la primera columna, en proporción a las 6 variables respuestas observadas en la primera fila. Dicha tabla refleja los valores de significación.

### Discusión y Conclusiones:

Observando el análisis descriptivo inicial, dichos valores muestran que la presencia de la normativa a nivel general mejora la calidad de los estudios. Sin embargo, esta incorporación sobre los quirópteros es reciente (2019), de manera que es necesario aumentar el tiempo de vigilancia de los mismos (20). Además, atendiendo al número de especies de murciélagos encontrados en los Estudios de Impacto Ambiental, hay un reducido número de los mismos debido probablemente a que, para su detección, se emplean detectores automáticos durante un tiempo mucho menor del exigido donde indican la especie más probable, fiándose los encargados de muestrear el área de estudio en estos valores en caso de desconocer las especies frecuentes del lugar. Esto hace que se caiga en el denominado “auto ID”, de manera que generan problemas de cara a que se plasman en los Estudios de Impacto Ambiental resultados que no corresponden con la realidad, produciendo así estudios mal evaluados y, por lo tanto, los impactos que se estudien en estos trabajos serán subestimados o ignorados. Se analizó además que el 96% de los estudios sin normativa incluyen a especies que son más fáciles de detectar y muy comunes en la región dadas las características de las especies, pero en ciertos estudios se afirma de manera detallada la presencia de especies de muy complicada detección o de baja fiabilidad.

De cara a las tablas de contingencia plasmadas en la Tabla 1 realizadas para observar si las variables respuesta mejoran la calidad de los estudios, así como el esfuerzo de muestreo sobre los mismos, vemos que la presencia de la aplicación de directrices específicas en los Estudios de Impacto Ambiental, así como la tramitación de los mismos por parte del Ministerio, mejoran hasta cierto punto la calidad de estos estudios en comparación con su completa ausencia, predominando este último sobre los demás en cuanto a la mejora del seguimiento y a la conservación de quirópteros dada su mayor exigencia, debido a que tratan parques eólicos de mayor potencia **(11)**. Además, la aplicación de las directrices es anterior a las normativas autonómicas, desde 2013, por lo que ha permitido presentar un mayor tiempo de implantación y de estabilización. Desafortunadamente, la gran diversidad de promotoras y consultoras existentes a nivel nacional dificulta la implantación de los mismos dado que cada empresa actuará de diferente manera, lo que los limita notoriamente **(21)**. Esto supone un grave problema debido a que, a nivel teórico, todos los informes afirman la aplicación de directrices sobre quirópteros, sin embargo, esto no se ve plasmado en los trabajos de campo.

Se seleccionaron las variables predictoras presentes en la Tabla 2 en función de que fuesen capaces de explicar el esfuerzo de muestreo realizado para estudiar las poblaciones de murciélagos de las zonas correspondientes, así como los resultados obtenidos y, por otra parte, la dedicación bibliográfica empleada sobre aves y murciélagos y el plan a futuro (es decir, medidas presupuestarias dedicadas a este grupo faunístico). De aquí podemos resaltar cómo la aplicación de la normativa y la tramitación del Ministerio apenas ejerce mejoría con respecto a las variables predictoras analizadas, dando a comprender que los estudios actualmente no siguen un patrón lógico en función de la misma y no influye de la manera en la que se espera, dada su reciente incorporación (2019). Además, es común que las promotoras fragmenten los proyectos con la aprobación de las administraciones correspondientes para que sean evaluados por la comunidad autónoma y no por el Ministerio para reducir falsamente el impacto (además, la información existente en España acerca de las poblaciones de murciélagos es muy escasa y fragmentada, ya que parte de la información es “literatura gris”, es decir, no se encuentra fácilmente disponible a pesar de ser una información pública), generando efectos perjudiciales sobre el paisaje y la biodiversidad **(11, 22)**.

Sin embargo, sobre estos mismos modelos vemos que la incorporación de las directrices, junto con la duración de las horas de grabación de la actividad de las poblaciones de quirópteros sí mejoran los estudios. Para la primera variable, se refuerza con la afirmación de que las directrices contribuyen a reducir el impacto de los parques eólicos y exigen aportar información exhaustiva de trabajo de campo y bibliográfico sobre los murciélagos, así como una partida presupuestaria mayor. Atendiendo a la segunda variable, vemos cómo, al aumentar las horas de grabación, supone un incremento en el número de especies encontradas, así como de pases de murciélagos, lo que se traduce en la obtención de unos mejores resultados y un mayor esfuerzo de muestreo.

Para concluir, las evidencias que se analizaron anteriormente demuestran una serie de puntos:

- La implantación de una normativa global a nivel nacional muestra ligeras mejoras en cuanto a la realización de los Estudios de Impacto Ambiental y la protección de

murciélagos, aunque esta no es suficiente dada su reciente incorporación, por lo que se recomienda aumentar el tiempo de vigilancia y de revisión de los estudios.

- Existe una gran independencia entre promotoras y consultoras en cuanto al establecimiento de medidas para el estudio y la protección de murciélagos. Es necesario exigir estas normativas a todo el ámbito nacional para homogeneizar los resultados obtenidos al realizar el trabajo de campo indicado por las mismas.
- La aplicación de las directrices de la Asociación Española para la Conservación y el Estudio de los Murciélagos, específicas para quirópteros, así como aquellos estudios en manos del Ministerio, mejoran e incrementan el esfuerzo de muestreo de los estudios y, por lo tanto, la calidad de los mismos, por lo que actúan como salvaguarda.
- La implantación en estos informes de variables dedicadas a desarrollar el esfuerzo de muestreo de murciélagos beneficia notoriamente tanto a la calidad de los trabajos como al estudio y seguimiento de estas poblaciones. Sin embargo, a pesar de esta mejora, no se llegan en los resultados a llegar a los valores mínimos exigidos, por lo que es fundamental fortalecer este aspecto.

### Referencias / Bibliografía:

- 1: Ciscar, J. C. (2020). Impactos del cambio climático en España: Una revisión parcial. *Papeles de Economía Española*. 163.
- 2: González, E. M., Jurado, E., González, E. S., Aguirre, C. O., Jiménez, P. J., & Navar, J. (2003). Cambio climático mundial: origen y consecuencias. *Ciencia UANL*. 6(3).
- 3: Arribas, P., Abellán, P., Velasco, J., Bilton, D. T., Lobo, J. M., Millán, A., & Sánchez-Fernández, D. (2012). La vulnerabilidad de las especies frente al cambio climático, un reto urgente para la conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas*. 21(3), 79–84.
- 4: Alcalde, J. T. (2003). Impacto de los parques eólicos sobre las poblaciones de murciélagos. *Barbastella*. 2, 3–6.
- 5: Salguero Pérez, M. M., Muñoz Arroyo, G., & Muñoz Gallego, A. R. (2018). Incidencia de los parques eólicos sobre las poblaciones de quirópteros del Campo de Gibraltar. *Revista de Estudios Campogibraltareños*. 49.
- 6: [https://www.ree.es/sites/default/files/11\\_PUBLICACIONES/Documentos/Renovables-2019.pdf](https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/Renovables-2019.pdf)
- 7: Galán, C. (2006). Estudio de probables afecciones del Parque Eólico de Mandoegi (Guipúzcoa-Navarra) sobre poblaciones de Quirópteros. *Biosphere Consultancies & Sociedad de Ciencias Aranzadi*.
- 8: Wangong, J., & Daniel, P. (2010). Efficiency Analysis of the Renewable Energy Sources. *Ingenierías USBMed*. 1(1).
- 9: Galán, C. (2006). Estudio de probables afecciones del Parque Eólico Oiz Fase 2 (Bizkaia) sobre poblaciones de Quirópteros. *Biosphere Consultancies & Sociedad de Ciencias Aranzadi*.
- 10: Robles Guerrero, F. G. (2017). Impactos a la biodiversidad por parques eólicos en el noreste de México. *Política, Globalidad y Ciudadanía*. 3(6), 41–49.
- 11: Atienza, J. C., Martín Fierro, I., Infante, O., & Valls, J. (2011). *Directrices para la evaluación del impacto de los parques eólicos en aves y murciélagos (versión 3.0)*. SEO/BirdLife, Madrid.

- 12:** Korner–Nievergelt, F., Brinkmann, R., Niermann, I., & Behr, O. (2013). Estimating Bat and Bird Mortality Occuring at Wind Energy Turbines from Covariates and Carcass Searches Using Mixture Models. *PLOS ONE*. 8(7).
- 13:** Roemer, C., Disca, T., Coulon, A., & Bas, Y. (2020). Bat flight height monitored from wind masts predicts mortality risk at wind farms. *Biological Conservation, Elsevier*. 2017(215), 116–122.
- 14:** Allison, T. D., J. E. Diffendorfer, E. F. Baerwald, J. A. Beston, D. Drake, A. M. Hale, Cris D. Hein, M. M. Huso, S. R. Loss, J. E. Lovich, M. D. Strickland, K. A. Williams & V. L. Winder. (2019). Impacts to wildlife of wind energy siting and operation in the United States. *Issues in Ecology*. (21), 1–23.
- 15:** Rydell, J., Ottvall, H. R., Pettersson, S., & Green, M. (2017). *The effect of wind power on birds and bats. An updated synthesis report 2017*. VINDVAL. The Swedish Environmental Protection Agency. Bromma, Sweden.
- 16:** Schuster, E., L. Bulling & J. Köppel (2015). Consolidating the State of Knowledge: A Synoptical Review of Wind Energy's. *Wildlife Effects Environmental Management*. 56, 300–331.
- 17:** Smallwood, K. S. (2013). Comparing bird and bat fatality–rate estimates among North American wind energy projects. *Wildlife Society Bulletin*. 37(1), 19–33.
- 18:** EC. (2020). *Commission notice. Guidance document on wind energy developments and EU nature legislation*. European Commission. Bussels, 18.11.2020 C(2020) 7730 final.
- 19:** Marqués Dabouza, M. (2019). *El régimen jurídico de los parques eólicos terrestres*. (Tesis de pregrado). Universidad Pontificia Comillas, Madrid, España.
- 20:** Guixé, D., & Camprodon, J. (2018). *Manual de conservación y seguimiento de los quirópteros forestales*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid.
- 21:** Camina, Á. (2012). Bat Fatalities at Wind Farms in Northern Spain – Lessons to be Learned. *Acta Chiropterologica*. 14(1), 205–212.
- 22:** <http://secemu.org/comision-parques-eolicos/>

## EL DILEMA DE LA INTEGRACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE IMPACTO EN LA SALUD EN LA EVALUACIÓN AMBIENTAL

Carlos Iglesias Merchán<sup>1</sup>, Elvira Domínguez Ares<sup>1,2</sup>

1. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. carlos.iglesias@upm.es

2. GeAmbiental S.L., Córdoba, España. v.d.ares@geambiental.com

**Palabras clave:** Evaluación Ambiental Estratégica; Evaluación de Impacto Ambiental; Participación Pública; Salud Pública; Vigilancia y Seguimiento Ambiental.

### Resumen:

La implementación de la Evaluación de Impacto en la Salud (EIS) en España está resultando extremadamente lenta. Después de una década desde su incorporación a la legislación básica (Ley 33/2011, General de Salud Pública), solo está implementada en una comunidad autónoma (Andalucía). Conceptos básicos de las EIS aún no resultan familiares entre muchos profesionales y, pese a todo ello, con frecuencia se afirma que el futuro de la EIS pasa por su integración en los procedimientos existentes de Evaluación Ambiental. Esta comunicación representa una aproximación básica a aspectos fundamentales de la EIS que dan lugar a dudas sobre el modo en que resolver este dilema.

### Introducción:

La Ley 33/2011 (1), Ley General de Salud Pública (LSP), incorpora al ordenamiento jurídico español el concepto de Evaluación de Impacto en Salud (EIS), que define como *“la combinación de procedimientos, métodos y herramientas con los que puede ser analizada una norma, plan, programa o proyecto, en relación a sus potenciales efectos en la salud de la población y acerca de la distribución de los mismos”*. En este sentido, hace hincapié en que su pretensión es que se tengan en cuenta tanto los efectos directos como los indirectos, no solo de las políticas sanitarias, sino también de las no sanitarias. Lo que se conoce como el enfoque de la Salud en Todas las Políticas (SeTP). Éste se refiere a un enfoque de Salud Pública con el objeto de considerar sistemáticamente las implicaciones de las decisiones en cualquier sector de actividad en términos de salud porque la salud está principalmente determinada por factores externos al sector sanitario (2). Para introducir la dimensión de la salud en las políticas sectoriales es necesario el compromiso de todos los sectores de actividad (3). Además, debe hacerse desde una perspectiva de equidad en salud (4), de manera que se prevean los potenciales efectos de las actuaciones evaluadas sobre la salud de la población teniendo en cuenta las desigualdades sociales en salud.

La EIS tiene su origen en la década de los 90 principalmente en países anglosajones y del norte de Europa (a diferente escala y mediante procedimientos y niveles de exigencias muy dispares), surge como respuesta a la prácticamente inapreciable presencia de la salud en los documentos ambientales (5). En España, la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de Evaluación Ambiental (6),

incluye la necesidad de considerar la salud humana entre los factores objeto de análisis, tanto en la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) como en la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE). Pero no resulta una tarea sencilla, ya que al evaluar impactos sobre la salud es frecuente que se adopten enfoques reduccionistas limitados a riesgos físico-químicos (4). Es decir, centrados en los efectos de contaminantes concretos y no tanto en la integración del efecto como tal (7).

No obstante, desde el ámbito sanitario se aspira a obtener resultados similares a los obtenidos mediante la implantación de la EIA, hace más de tres décadas, y de la EAE de planes y programas, también hace más de tres lustros, a la hora de integrar las consideraciones ambientales en los procesos de toma de decisiones de planes, programas y proyectos (8). Estos precedentes han sido determinantes en el paralelismo que muestra el diseño teórico de las fases y metodologías más comúnmente promovidas en la EIS, que resultan muy familiares a quienes ya poseen experiencia en el ámbito de la evaluación ambiental (EA).

Por otro lado, a finales del año 2021, el Ministerio de Sanidad, en coordinación con el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, presentó el Plan Estratégico de Salud y Medio Ambiente (PESMA) 2022-2026 (9), destinado a proteger la salud de la población frente a los principales factores ambientales y sus determinantes durante el próximo cuatrienio. Su objetivo principal es promover entornos ambientales que mejoren la salud de la población y reduzcan los riesgos asociados a la exposición a determinados factores ambientales en el marco de la estrategia de Salud Pública prevista en la LSP (1). En el PESMA (9) se menciona la posibilidad de integrar la EIS en otros procedimientos ya reglados como los de EA, una cuestión que requiere, cuanto menos, una reflexión previa sobre las ventajas e inconvenientes de su posible integración y la capacidad de los órganos competentes. En esta comunicación se realiza una aproximación básica a algunos aspectos fundamentales de la EIS que pueden generar dudas sobre el modo en que se integraría en los procedimientos de EA.

### **Material y Métodos:**

En primer lugar se ha llevado a cabo un análisis sobre el nivel de desarrollo normativo de la EIS y su grado de implementación en España. También se han identificado las debilidades más conocidas de la EA en España que, sin la adecuada mejora, podrían resultar insuficientes para garantizar el cumplimiento de algunos de los objetivos o principios inspiradores de la EIS. Para ello, se han tenido en cuenta los contenidos de las conclusiones de anteriores ediciones del Congreso Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (CONEIA), otros eventos técnicos y los últimos cambios normativos en la propia legislación básica de EA.

### **Resultados:**

Aunque habitualmente se considera que la LSP supuso la inclusión de la EIS en el ordenamiento jurídico español, lo cierto es que el concepto de la EIS se incorporó con anterioridad en las leyes de Salud Pública de las comunidades autónomas de Cataluña (2009) y de las Islas Baleares (2010). Sin embargo, en la actualidad, tan solo se ha abordado el desarrollo reglamentario de la EIS en la comunidad autónoma de Andalucía (Tabla 1). Posteriormente, la mención a la EIS se ha incluido en las normas de Aragón (2014), Comunidad Valenciana (2014) y Galicia (2018). También en el País Vasco y en la Comunidad de Madrid se ha incorporado en su anteproyecto y proyecto(respectivamente) de Ley de Salud Pública, que actualmente se encuentran en

tramitación. De manera que, hasta la fecha, la EIS es un término que, definido o no, tan solo se encuentra presente en la legislación de Salud Pública de seis comunidades autónomas y únicamente ha tenido desarrollo reglamentario en una de ellas (Andalucía).

Comunidad Autónoma	Norma vigente	Menciona EIS	Desarrollo reglamentario
<b>Andalucía</b>	<b>Ley 6/2011, de Salud Pública de Andalucía</b>	<b>SÍ</b>	<b>SÍ</b>
<b>Aragón</b>	<b>Ley 5/2014, de Salud Pública de Aragón</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Canarias	Ley 11/1994, de Ordenación Sanitaria de Canarias	NO	-
Cantabria	Ley 17/2002, de Ordenación Sanitaria de Cantabria	NO	-
Castilla-La Mancha	Ley 8/2000, de Ordenación Sanitaria de Castilla-La Mancha	NO	-
Castilla y León	Ley 8/2010, de Ordenación Sanitaria de Castilla y León	NO	-
<b>Cataluña</b>	<b>Ley 18/2009, de Salud Pública</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
<b>Comunidad Valenciana</b>	<b>Ley 10/2014, de Salud de la Comunitat Valenciana</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Comunidad de Madrid	Ley 12/2001, de Ordenación Sanitaria de la Comunidad de Madrid	NO	-
Extremadura	Ley 10/2001, de Salud de Extremadura	NO	-
<b>Galicia</b>	<b>Ley 1/2018, por la que se modifica la Ley 8/2008, de salud de Galicia</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
<b>Islas Baleares</b>	<b>Ley 16/2010, de Salud Pública de las Illes Balears</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
La Rioja	Ley 2/2002, de Salud	NO	-
Navarra	Ley Foral 10/1990, de Salud	NO	-
País Vasco	Ley 8/1997, de Ordenación Sanitaria de Euskadi	NO	-
Principado de Asturias	Ley 7/2019, de Salud	NO	-
Región de Murcia	Ley 4/1994, de Salud de la Región de Murcia	NO	-

Tabla 1. Legislación autonómica de Salud Pública, en negrita se resaltan aquellas CCAA que mencionan la EIS en su normativa.

En relación al nivel de conocimiento general que existe sobre EIS entre el público interesado en temas ambientales, con motivo de la celebración del Congreso Nacional del Medio Ambiente CONAMA 2018, se llevó a cabo una encuesta online difundida a través de la cuenta oficial de la organización del mencionado congreso en Twitter (Figura 1). El mensaje original se distribuyó entre aproximadamente 50.000 seguidores de ésta y otras cuentas de usuarios que lo reenviaron. En total se obtuvieron casi 50 respuestas pero, entre los usuarios que realizaron la encuesta, tan solo un 14% de ellos respondió correctamente la pregunta sobre el número de comunidades autónomas en las que existía el procedimiento de EIS de planes, programas o proyectos. Un

porcentaje algo inferior (un 11%) dio por hecho que a esas alturas ya estaría implantado en todas las comunidades autónomas.



Figura 1. Captura de pantalla del mensaje inicial de la encuesta sobre EIS en el marco de CONAMA 2018.

En relación a valores y principios destacados de la LSP, cabe hacer mención particular, entre otros, al derecho a información de la población (artículo 4), al derecho de participación (artículo 5), al derecho a la igualdad (artículo 6), a la información pública sobre riesgos para la salud de la población (artículo 10), a la importancia que se atribuye a la vigilancia en salud pública (artículos 12, 13 y 14) y al hecho de que los resultados de la evaluación de impacto en salud deberán integrarse en el sistema de información de salud pública y en la Red de Vigilancia de Salud Pública (artículo 35). Tomando como referencia el procedimiento de EIA en España, con mayor grado de desarrollo, la Tabla 2 muestra las reiteradas alusiones al escaso grado de satisfacción de los participantes en anteriores ediciones del CONAMA, respecto al nivel de desarrollo alcanzado en alguno de estos aspectos. En concreto, se producen críticas sobre el escaso nivel de calidad de los procesos de participación pública y, sobre todo, con relación a la vigilancia ambiental, como se menciona sistemáticamente en las conclusiones de los libros de actas.

Congreso	Conclusiones
CONEIA 2005 (Pamplona)	Es urgente que el seguimiento y control ambiental de las obras se lleve a cabo de forma efectiva.
CONEIA 2007 (Madrid)	La vigilancia sigue siendo el punto débil de la evaluación ambiental. Habría que potenciar el control de las administraciones públicas, dotando al órgano ambiental de más competencias.
CONEIA 2009 (Córdoba)	El plan de vigilancia ambiental (PVA) debe abarcar toda la vida útil del proyecto: obra, funcionamiento y abandono.
CONEIA 2011 (Albacete)	La vigilancia debe ser efectiva y ser accesibles los datos que se obtienen en la misma para aplicarlos en EA ulteriores. Es necesario un control externo a las labores de vigilancia por una entidad/persona ajena a la obra. Bancos de datos reales obtenidos en las labores de vigilancia.
CONEIA 2013 (Oviedo)	Deberían hacerse accesibles los datos del seguimiento de actuaciones sometidas a evaluación. Se debe dotar al Órgano Ambiental de suficientes medios humanos y materiales para llevar a cabo adecuadamente las funciones de la Administración, tanto en tramitación (retrasos, falta de acceso a la información, escasa disponibilidad de datos participación pública...) como en vigilancia (inacción ante denuncias, falta de inspección, falta de medios para vigilancia). Necesidad de retroalimentación de la vigilancia, de personas y datos. Los documentos de seguimiento ambiental siguen siendo una asignatura pendiente. Harían falta informes estandarizados, normalizados, guías metodológicas dinámicas, adaptadas a cada tipología concreta y actualizables. El director ambiental de obra debería tener capacidad real de decisión.
CONEIA 2015 (Madrid)	Se ha constatado que siguen vigentes viejos retos, sobre los que se debe seguir trabajando (entre ellos se menciona la vigilancia ambiental).
CONEIA 2017 (Zaragoza)	Analizar la eficacia de las medidas correctoras que se vienen implementando para su aplicación a expedientes futuros. Asignar recursos suficientes para el seguimiento ambiental desde el inicio de la aprobación de los planes y la autorización de los proyectos.

Tabla 2. Alusiones a la vigilancia ambiental incluidas en las conclusiones de anteriores ediciones del CONEIA

Por último, en las Tablas 3 y 4 se muestran los diferentes objetivos establecidos para la vigilancia y el seguimiento ambiental de proyectos entre la Ley 21/2013 (6) y en su posterior modificación por la Ley 9/2018 (10).

Referencia	Objetivos
Ley 21/2013	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.º Detectar y corregir desviaciones, con relevancia ambiental, respecto a lo proyectado en el proyecto de construcción.</li> <li>2.º Supervisar la correcta ejecución de las medidas ambientales.</li> <li>3.º Determinar la necesidad de suprimir, modificar o introducir nuevas medidas.</li> <li>4.º Seguimiento de la evolución de los elementos ambientales relevantes.</li> <li>5.º Alimentar futuros estudios de impacto ambiental.</li> </ol>
Ley 9/2018	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.º Detectar y corregir desviaciones, con relevancia ambiental, respecto a lo proyectado en el proyecto de construcción.</li> <li>2.º Supervisar la correcta ejecución de las medidas ambientales.</li> <li>3.º Determinar la necesidad de suprimir, modificar o introducir nuevas medidas.</li> <li>4.º Seguimiento de la evolución de los elementos ambientales relevantes.</li> </ol>

Tabla 3. Objetivos de la vigilancia ambiental en fase de obras según la legislación básica en materia de EA

Referencia	Objetivos
Ley 21/2013	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.º Verificar la correcta evolución de las medidas aplicadas en la fase de obras.</li> <li>2.º Seguimiento de la respuesta y evolución ambiental del entorno a la implantación de la actividad.</li> <li>3.º Alimentar futuros estudios de impacto ambiental.</li> </ol>
Ley 9/2018	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.º Verificar la correcta evolución de las medidas aplicadas en la fase de obras.</li> <li>2.º Seguimiento de la respuesta y evolución ambiental del entorno a la implantación de la actividad.</li> <li>3.º Diseñar los mecanismos de actuación ante la aparición de efectos inesperados o el mal funcionamiento de las medidas correctoras previstas.</li> </ol>

Tabla 4. Objetivos del seguimiento ambiental de proyectos en fase de explotación según la legislación básica en materia de EA

### Discusión y Conclusiones:

En primer lugar, a pesar de los bien conocidos vínculos entre salud y medio ambiente, que se ponen de manifiesto en el PESMA (9), resulta relevante el escaso impulso político que está recibiendo la EIS en España. Una década después de la entrada en vigor de la LSP no existe un desarrollo básico de la normativa en materia de EIS a nivel estatal que permita aplicar unos estándares mínimos comunes de contenidos, procedimientos y metodologías en el conjunto del Estado, particularmente en las comunidades autónomas donde no exista normativa propia en esta materia, dado que tan solo se ha desarrollado reglamentariamente en Andalucía (11). Por un lado,

esta falta de desarrollo conduce a un desconocimiento generalizado de la materia, como se refleja en los resultados de la encuesta realizada entre el público vinculado a la edición del año 2018 del Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). Aunque pueda parecer que la mencionada encuesta se refiere a una pequeña muestra de población, es muy habitual que este tipo de estudios sobre EIS y/o EA muestren un tamaño muestral en torno a 50 respuestas, salvo en casos excepcionales o en trabajos donde los participantes recibían algún tipo de incentivo por responder (12).

Por otro lado, se sabe que el actual nivel de implementación de la EIS produce la percepción de trato desigual entre algunos actores, como promotores o proyectistas, según la comunidad autónoma donde se ubique un proyecto. Esta circunstancia puede ocasionar una desventaja competitiva entre actores o sectores de actividad afectados (13). Además, también se genera una desigualdad desde el punto de vista de los intereses del público potencialmente afectado, ya que la consideración de la salud de la población en estos proyectos también puede variar por el mismo motivo. Esta circunstancia resulta contraria a los fines de la estrategia de Salud Pública propuesta en la propia LSP, donde la equidad en salud se considera un componente fundamental para mejorar la salud de la población y no solo un fin.

Otro detalle importante que conviene reseñar tiene que ver con la necesidad de definir el papel concreto del órgano de salud o del órgano ambiental en los procedimientos de EIS, o en la consideración de la salud en los procedimientos de EA, por separado o integrados. Indudablemente, se hace necesario fomentar la multidisciplinariedad en estos mismos órganos a la par que la formación, como también se demanda en otros países europeos (14). Si estas consideraciones no se abordan con antelación, los resultados de las evaluaciones podrían verse afectadas por el perfil profesional, más ambiental o sanitario, de los integrantes de los equipos de los órganos competentes. Por ejemplo, la experiencia o el perfil profesional de los técnicos podría reflejarse en aspectos como la diferente percepción de los determinantes de salud (12).

Otro aspecto destacado que merece la pena considerar, antes de llevar a cabo una integración de distintas herramienta de evaluación, es el papel de la vigilancia. Como se ha señalado anteriormente, la LSP otorga un papel relevante a la vigilancia en salud pública. En particular, establece que los resultados de la EIS deberán integrarse en el sistema de información de salud pública y en la Red de Vigilancia de Salud Pública. En ese sentido, es obvio que la vigilancia ambiental es considerada una debilidad de la EA, no solo en España sino también en otros países de larga tradición en EA desde hace bastantes años (15). Sin embargo, en Salud Pública se considera que la vigilancia solo tiene sentido cuando va unida a la puesta en marcha de medidas para el control de los riesgos sobre la salud y se considera como una fuente de información cuya meta es la acción (16). En este sentido, también resultaría contradictorio con los enfoques de Salud Pública que, en la legislación básica de EA, se haya dejado de considerar como un objetivo que los resultados de la vigilancia y el seguimiento ambiental de proyectos sirvieran para alimentar futuros estudios de impacto ambiental (6 y 10). Objetivo que, indudablemente, tampoco se puede lograr a tenor de las carencias y falta de recursos y competencias del órgano ambiental en materia de vigilancia y seguimiento ambiental que se advierte en los libros de actas de anteriores ediciones del CONEIA.

Por tanto, sería conveniente debatir entre órganos competentes y actores principales las posibilidades reales de integración de procesos de evaluación de impacto, sus necesidades y

enfoques particulares, los recursos disponibles, etc. No es oportuno desbordar de contenidos los actuales procedimientos de evaluación de impacto sin las garantías para que no se produzca su banalización o a la percepción de no ser más que un mero trámite administrativo (4).

### Referencias /Bibliografía:

- (1) BOE. 2011. Ley 33/2011, general de Salud Pública. *Boletín Oficial del Estado*240, 104593–104626.
- (2) Sanz, E., Esnaola, S., Aldasoro, E., Bacigalupe, A., & Zuazagoitia, J. 2012. Pasos hacia la institucionalización de la evaluación del impacto en salud en España: la percepción de los profesionales de salud pública. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra* 35(3), 403-412
- (3) Boldo, E., St-Pierre, L., Mendell, A., & Benoit, F. 2011. La institucionalización de la evaluación del impacto en la salud en Quebec: ¿un modelo factible en España?. *Gaceta Sanitaria* 25(6), 535-541.
- (4) Esnaola, S., Bacigalupe, A., Sanz, E., Aldasoro, E., Calderon, C., Zuazagoitia, J., & Cambra, K. 2010. La evaluación del impacto en la salud: una vía para introducir la salud en todas las políticas. INFORME SESPAS 2010. *Gaceta sanitaria* 24, 109-113.
- (5) Steinemann, A. 2000. Rethinking human health impact assessment. Atlanta. *Environmental Impact Assessment Review* 20, 627–645.
- (6) BOE. 2013. Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental. *Boletín Oficial del Estado*296, 1-86.
- (7) Guerrero, H. F. R. Ambiente y salud pública: Una mirada desde el impacto ambiental a la salud. sobre salud pública y desarrollo social, 101-136. En Córdoba-Sánchez, C.I. (Ed.). Ensayos sobre salud pública y desarrollo social. Fundación Universitaria del Área Andina, Bogotá, 2019.
- (8) Casas, S., García, A., Suárez, S., Barberá, M., López, E., Aránguez, E., ... & Boldo, E. La salud en la evaluación de impactos ambientales: guía metodológica. Sociedad Española de Sanidad Ambiental, Madrid, 2011.
- (9) Plan Estratégico de Salud y Medioambiente 2022 – 2026. Ministerio de Sanidad y Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid, 2021.
- (10) BOE. 2018.Ley 9/2018, de 5 de diciembre, por la que se modifica la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, la Ley 21/2015, de 20 de julio, por la que se modifica la Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes y la Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero. *Boletín Oficial del Estado*294, 119858–119905.
- (11) Iglesias-Merchan, C., Domínguez-Ares, E. 2022. Evaluación de impacto en salud: una prioridad inaplazable. *Gaceta Sanitaria* 36(1), 88-88.
- (12) Domínguez-Ares, E., Martín-Olmedo, P., Iglesias-Merchan, C. 2020. Perception survey on the relevance of main categories of health determinants for conducting health impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review* 85, 106445.
- (13) Vela-Ríos J., Rodríguez-Rasero F.J., Moya-Ruano L.A., Candau-Bejarano A., Ruiz-Fernández J. 2016. Institucionalización de la evaluación del impacto en la salud en Andalucía. *Gaceta Sanitaria* 30, 81-84.

- (14) Linzalone N., Bianchi F., Curzio O., Serasini L., Natali M., T4HIA Project Working Group. 2019. Theory and practice to integrating health in environmental assessment: synthesis of an experience with stakeholders to deliver a national HIA guideline. *Environmental Impact Assessment Review* 77, 49-59.
- (15) Iglesias-Merchán, C., Domínguez-Ares, E. 2020. Challenges to integrate Health Impact Assessment into Environmental Assessment procedures: the pending debate. *Impact Assessment and Project Appraisal* 38(4), 299-307.
- (16) Noguera, I., Alonso, J. P., Arteagoitia, J. M., Astray, J., Cano, R., Pedro, J. D., ... & Vanoclocha, H. 2017. Vigilancia en salud pública: una necesidad inaplazable. *Gaceta Sanitaria* 31, 283-285.

## **SPECIES. SENSIBILIDAD A PARQUES EÓLICOS. CÁLCULO DE LA INCIDENCIA EN ESPECIES SILVESTRES.**

Refoyo Román, P.; Olmedo Salinas, C.; López Alía, T.; García Deltell, A.; Muñoz Araujo, B. y Hernández De Miguel, J.M.

Universidad Complutense de Madrid; email: parefoyo@ucm.es; Madrid, España.

**Palabras clave:** Avifauna; Parque Eólico; Incidencia; Sensibilidad.

### **Resumen:**

La energía eólica, aunque resulta muy beneficiosa para combatir los efectos del cambio climático no está libre de impacto, especialmente, sobre la fauna. La determinación de los efectos de parques eólicos sobre las especies animales es difícil de precisar y depende tanto de las características de los parques eólicos como de la orografía del terreno y de las especies presentes en la zona. El software SPECIES (Sensibilidad a Parques Eólicos. Cálculo de la Incidencia en Especies Silvestres) busca aunar todos estos parámetros y, mediante un algoritmo matemático, permitir cuantificar la sensibilidad de cada especie atendiendo a las características propias de cada parque eólico (tipo y distribución de los aerogeneradores, ocupación del territorio, etc.) y aquellos relacionados con la especie (grado de amenaza e importancia social, características morfológicas, etológicas, ecológicas, etc.).

### **Introducción:**

La producción de energía mediante aerogeneradores presenta muchas ventajas frente al cambio climático, lo que ha provocado un desarrollo considerable de este tipo de producción energética por todo el mundo (7; 23). Sin embargo, este tipo de energía no está completamente libre de impacto. Los aerogeneradores desplazan y matan a una gran variedad de especies silvestres lo que obliga a planificar bien su ubicación (4). En Estados Unidos, por ejemplo, se estima que la energía eólica provoca el 0,01% de la mortalidad aviar por causa antrópica y que en el año 2030 pueden verse afectados hasta 300.000 individuos (10).

En todo caso, la determinación de los efectos de parques eólicos sobre la fauna, especialmente la voladora, es difícil de precisar y depende de varios factores (29; 11; 7; 3). Algunos estudios sugieren que la afección de los parques eólicos sobre la fauna voladora depende mucho de la idoneidad de su emplazamiento y de las condiciones ambientales (17; 5); otros estudios indican que los efectos negativos potenciales dependen también de las características de los propios parques (diseño y distribución espacial de las turbinas) y de las especies presentes (comportamiento y características de vuelo, así como de su abundancia o la de sus presas) (25). Wing y col. (2016) establece, al menos, 11 parámetros que deben ser utilizados para valorar la incidencia sobre la fauna y que van desde aspectos etológicos, socioeconómicos, demográficos y de las posibles relaciones entre ellos (19; 10; 8), tanto de los individuos migrantes (7) como de los residentes (3). Independientemente de las variables que haya que considerar a la hora de establecer la incidencia de los parques eólicos sobre la fauna, lo que parece consensado es que las afecciones potenciales son principalmente de tres tipos (2): Pérdida de hábitat; molestias y alteración del comportamiento y colisiones (27).

Por otro lado, e independientemente de las características del Parque o de los aerogeneradores, no todas las especies se ven afectadas por igual. Algunos autores consideran a las grandes aves planeadoras como las más afectadas (18; 26), otros piensan que son más sensibles las especies con comportamiento gregario (22), mientras que otros consideran que debería prestarse especial atención a las especies protegidas frente a las especies no amenazadas (14).

En definitiva, y como se ha podido comprobar, son muchas las consideraciones que han de tenerse en cuenta a la hora de valorar el impacto de los aerogeneradores sobre la fauna voladora (aves y murciélagos) y mucho más si se pretende cuantificar dicha afección mediante un modelo matemático.

A pesar de esta dificultad, durante los últimos 20 años se han desarrollado múltiples métodos estadísticos para estimar la afección de la energía eólica sobre aves y murciélagos (12; 30; 16; 20). En todo caso, resulta esencial agrupar todos los tipos de variables para poder establecer una cuantificación global que pueda ser adaptada a cada especie y a cada parque eólico en concreto.

Para ello se desarrolla el software SPECIES: Sensibilidad a Parques Eólicos: Cálculo de la Incidencia en Especies Silvestres con el objetivo de:

1. Obtener y desarrollar una fórmula matemática que permita dicha valoración considerando todas las variables relevantes en su formulación
2. Diseño de un formato cómodo para su cálculo por parte de los técnicos que elaboran o evalúan los proyectos

### Material y métodos:

La fórmula matemática establecida para obtener la sensibilidad de las especies a la presencia de parques eólicos considera aspectos relativos tanto, al propio parque eólico (tipo y distribución de los aerogeneradores, ocupación del territorio, etc.) como a aquellos relacionados con la especie, considerando su grado de amenaza e importancia social y sus características intrínsecas. Según esto, la sensibilidad de cada especie debe responder a la siguiente fórmula:

$$AE_i = PE (SE_i + VE_i)$$

Siendo

- $AE_i$  = la Afección a la especie  $i$
- $PE$  = Constante derivada de las características del Parque Eólico
- $SE_i$  = Sensibilidad de la especie  $i$  a la presencia del Parque Eólico
- $VE_i$  = Valor social de la especie  $i$

El índice de afección, por tanto será el producto de multiplicar los valores obtenidos para el parque eólico con los propios de cada especie presente en la zona.

#### ○ CARACTERÍSTICAS DEL PARQUE EÓLICO

El valor de afección del parque eólico vendrá determinado por el diseño del propio parque y estará influido tanto por las características del Parque ( $VPE$ ) como por su ubicación ( $UP$ ).

$$PE = VPE + UP$$

A su vez, el VPE vendrá determinado, tanto por la afección de cada aerogenerador (IM) como por la distribución dentro del Parque (extensión y líneas de aerogeneradores). Evidentemente, cuando los aerogeneradores están muy juntos el riesgo de transitar entre ellos es mayor (24), igualmente resulta relevante el número de filas en las que se distribuyen los aerogeneradores (9). Según esto, la afección global del Parque (VPE) se entenderá como:

1. el valor individual de cada uno de los aerogeneradores (IM) multiplicado por el número de aerogeneradores existentes (N).
2. la superficie total ocupada por el Parque eólico (APE). De esta manera, no solo consideramos toda el área de afección, sino que nos permite establecer la densidad de los aerogeneradores.
3. el número de hileras que conforman el Parque eólico (F).

En base a lo anterior, la fórmula propuesta para valorar las características del Parque es:

$$VPE = ((N * IM) / APE)^{1/F}$$

Para establecer el valor de IM consideraremos tanto el área de afección del aerogenerador (AFM) como la velocidad de giro de sus aspas (VGM).

$$IM = AFM * VGM$$

El área de afección de cada aerogenerador viene establecida por la superficie de la circunferencia que forman las aspas (a) más la superficie del triángulo formado por las aspas con el suelo cuando forman un ángulo de 60° con la torre de apoyo (b), menos la intersección de ambas superficies (c) (Figura 1):

$$AFM = a + b - c$$

siendo:

- $a = \pi r^2$
- $b = (\text{sen}60^\circ * r)(L - \text{cos } 60^\circ * r)$ , donde r es la longitud de las aspas y L la altura de la torre de apoyo
- $c = ((\pi r^2 / 3) - ((\text{sen}60^\circ * r)(\text{cos } 60^\circ * r)))$ .

Para calcular la afección de la velocidad de giro de las aspas (VG) partimos de la premisa de que a mayor velocidad de giro, mayor turbulencia y mayor riesgo para la fauna (27). En todo caso esta incidencia no es lineal sino exponencial ya que a partir de una velocidad determinada la afección puede considerarse elevada. Para calcular este valor se establece la fórmula siguiente:

$$VGM = 1 + \text{Log} (VG)$$

Dado que el valor del Parque Eólico (VPE) es el cociente entre el sumatorio de las áreas de afección de cada aerogenerador entre el área total ocupada, el valor será generalmente menor a 1. En los casos en los que el valor sea superior (superficie de aerogeneradores multiplicada por la velocidad de giro de los aerogeneradores sea superior a la superficie total del área) ésta se igualará a 1. Es

decir, la superficie máxima afectada no puede ser superior a la superficie ocupada por el total del Parque Eólico.

Son muchos los trabajos que muestran la importancia de la selección de la ubicación del parque eólico para minimizar su impacto en la avifauna. Actualmente, suelen descartarse aquellos lugares con mayor incidencia, sin embargo, es posible que se autoricen parques eólicos en áreas sensibles o con condiciones ambientales poco adecuadas (predominancia de nieblas) o que presente efectos sinérgicos con otros parques eólicos cercanos. Por todo ello, la ubicación del Parque Eólico resulta, al menos, tan relevante como las características del propio Parque, por tanto, el valor de esta variable debe ser al menos igual que el establecido para la variable anterior (VPE). En este sentido se propone que el valor máximo de las variables utilizadas para computar este factor sea también 1.

- Visibilidad (VI): Esta variable mide la frecuencia con la que aparecen días con escasa visibilidad (niebla, lluvia intensa, etc.) frente al total de días de observación ( $n^{\circ}$  total de día con baja visibilidad/ $n^{\circ}$  total de días de observación). El valor máximo es 0,25.
- Cercanía a zonas sensibles (ZS): Se consideran zonas sensibles aquellas en las que se producen concentraciones elevadas de individuos, bien porque son zonas de reproducción, zonas de alimentación, zonas de descanso o dormideros. También pueden considerarse áreas protegidas como ZEPAS o LIC. Evidentemente, no todas las especies tienen el mismo radio de acción por lo que fijar un radio mínimo de afección solo puede establecerse de forma más o menos aleatoria. Por ejemplo, para algunas especies un radio de influencia de 10 kilómetros es poco, pero para otras puede ser mucho. En todo caso, y por tener un criterio uniforme, se considerará que una zona sensible está cerca del parque cuando se ubique a menos de 10 km (1), en este caso el valor de esta variable será de 0,25; si están entre 10 y 50 km el valor será de 0,15; mientras que si está a más de 50 km se considera que la ubicación de parque no influye en estas zonas (valor 0).
- Pasos migratorios (PM). Se considerarán pasos migratorios las zonas utilizadas por la fauna aviar para la realización de sus desplazamientos diarios o migratorios. Si el parque eólico se ubica en uno de estos pasos, el efecto será grande por lo que se otorgará valor máximo (0,25); si no es así, el valor será mínimo (0).
- Proximidad con otros parques eólicos (PPE). La proximidad de diferentes parques eólicos provoca efectos sinérgicos negativos sobre las especies al limitar la longitud de los posibles pasillos libres de aerogeneradores, por eso se ha considerado relevante incluir esta variable. En este sentido, la ubicación de otro parque a menos de 3 kilómetros se considera muy negativa (0,25), entre 3 y 5 (0,15) y entre 5 y 10 (0,10) y no afecta a más de 10 Km (0). En el caso de existir más de un parque el valor aumentará a 0,25 en el caso de encontrarse entre 3 y 5 kilómetros y a 0.15 si están entre 5 y 10 kilómetros.

$$UP = VI + ZS + PM + PPE$$

Por tanto, el valor máximo posible inherente a las características y ubicación del Parque eólico será 2. Sustituyendo los valores en la fórmula planteada:

$$PE = VPE + UP$$

Si consideramos los valores obtenidos para cada aerogenerador, el parque en general y su ubicación obtenemos como resultado la siguiente fórmula:

$$PE = ((Ni * IMi) / APE)^{1/F} + (VI + ZS + PM + PPE)$$

○ CARACTERÍSTICAS INTRÍNSECAS DE LA ESPECIE

Evidentemente no todas las especies presentan la misma sensibilidad a la presencia del parque Eólico (14). Por otro lado, la incidencia sobre una especie amenazada no es igual que la que se produce sobre una especie con poblaciones estables, por ello debemos diferenciar dos tipos de variables relacionadas con las especies: aquellas que tienen que ver con la especial sensibilidad de cada especie a la presencia de estas infraestructuras (SE) y otras inherentes a su grado de amenaza, conservación o interés socioeconómico (VE). Por tanto, el valor de este apartado será:

$$\text{Características intrínsecas a la especie} = (SE + VE)$$

Con relación a la sensibilidad (SE) de las especies se considerarán variables relacionadas con sus características morfológicas, etológicas, históricas y demográficas.

*Variables morfológicas* (tamaño) (Valor máximo 1): En la mayoría de los seguimientos se detecta un mayor porcentaje de afección sobre aves de gran tamaño, valor que, en todo caso, parece estar sobrestimado ya que la detectabilidad de los cadáveres de las pequeñas aves y murciélago es menor (15; 16; 13). Es evidente que las aves pequeñas muestran mucha menor resistencia a los flujos de viento generado por las aspas por lo que parece lógico pensar que la afección sobre este grupo y sobre los murciélagos es mayor. Como tamaño de referencia se ha considerado aves pequeñas a aquellas menores o iguales a una tórtola; aves de tamaño mediano a aquellas cuyas tallas se encuentran entre un tórtola y una garcilla, mientras que se consideran aves grandes aquellas mayores que una garcilla. Teniendo en cuenta estos aspectos se ha valorado las siguientes clases (pequeña: valor 1; mediana: valor: 0,75; grande: valor 0,5).

*Variables etológicas* (Valor máximo 4,5): Evidentemente, el comportamiento de las diferentes especies va a influir en su riesgo de colisión, potenciando la posibilidad de verse afectados por los aerogeneradores (24). El gregarismo, la fenología y estacionalidad (tiempo de permanencia de la especie en la zona) y características de vuelo son variables a considerar (23; 24).

- Estacionalidad: considera el número de meses en que la especie es detectada en la zona. El valor máximo es 1 si la especie es sedentaria (12 meses) por lo que cada mes de presencia se valora con 0,0833.
- Fenología: marca las épocas en las que la especie está presente en la zona. Se considera que las especies presentes en época reproductora o en paso muestran una mayor riesgo que aquellas que solo son invernantes. En este sentido, si la especie está en la época reproductora se valorará con 0,75; si solo están en época invernante 0,25; si solo está en paso 0,5. Si está en todas las estaciones o en tres de ellas el valor será máximo (valor 1). Si está en dos se indica el valor de la estación con máximo valor.
- Altura de vuelo: para calcular la altura de vuelo con riesgo para cada especie ha de considerarse las características propias de cada Parque. En este sentido se han establecido tres zonas: ZONA

I: corresponde a la altura libre entre el suelo y las aspas (Valor 0,5); ZONA II: esta zona corresponde con el área con mayor riesgo de colisión ya que equivale a la circunferencia que forman las aspas al girar (Valor 1). ZONA III: corresponde con la altura libre por encima de las aspas (Valor 0). Cuando una especie presente alturas de vuelo diferente se optará por la que resulte más habitual y presente mayor riesgo.

- Tipo de vuelo: se considera que los vuelos directos muestran un menor riesgo de colisión que aquellos que provocan un mayor tiempo de permanencia en la zona. Los valores serán de 0,25 en vuelos directos y 0,5 en vuelo indirecto (ciclo).
- Tamaño de bando: cuando las especies muestran grandes agrupaciones el riesgo de colisión se considera mayor, por eso se establece la siguiente clasificación: Un individuo: 0,25; grupos de 2–5 individuos: 0,5; grupos de 6–10 individuos: 0,75; grupos de más de 10 individuos: 1.

*Variables históricas* (Valor máximo 2): También se ha incluido una variable relacionada con la mortalidad detectada en estudios anteriores. Aquellas especies que sistemáticamente son detectadas en las revisiones de mortalidad de estas infraestructuras o existen cifras elevadas de mortalidad por colisión en parques concretos merecen ser consideradas. Como criterio se puede considerar que cuando la especie aparece en la mayoría de los estudios se considera habitual (valor 2) (más del 30% de los estudios), si está entre el 15% y el 30% de los estudios se considera medio (valor 1); y se clasificará como poco habitual (valor 0.5) si solo aparece entre el 1 y el 15% de los estudios. Sin registros (valor 0).

*Variables demográficas* (Valor máximo 2.5): Las últimas variables consideradas tienen que ver con la incidencia sobre parámetros poblacionales de cada especie. Estrategia reproductora, frecuencia de aparición y abundancia de ejemplares (8).

- Supervivencia–Fecundidad (estrategia reproductora K o R) (K=0,5; R= 0,2).
- Frecuencia: Esta variable mide la frecuencia con la que aparece cada especie en la zona en relación con el resto de especies presentes ( $n^{\circ}$  total de presencias de la especie/ $n^{\circ}$  total de presencias detectadas). El valor máximo es 1.
- Abundancia de la especie en la zona ( $n^{\circ}$  de individuos detectados de la especie i/ $n^{\circ}$  total de individuos detectados de todas las especies) (valor máximo 1).

El valor social (VE) de la especie incluye la importancia de conservación de la especie y su importancia socioeconómica (incluyendo el valor cinegético o interés social de algunas especies). Evidentemente, las afecciones sobre aquellas especies que se encuentran en una situación de mayor riesgo de extinción deben ser consideradas de forma relevante, ya que la pérdida de unos pocos individuos puede representar la inviabilidad de la población. En este sentido se ha considerado tanto el grado de amenaza como la catalogación legal que tienen las diferentes especies.

El valor máximo de esta variable es muy superior al resto de variables ya que aquellas especies con el valor máximo de protección o de grado de amenaza tendrán el valor de 9. La catalogación según el Catálogo y Libros Rojos atenderá a la valoración establecida en la tabla 1 (21) y el valor otorgado a cada especie corresponderá al valor máximo posible independientemente que corresponda al Catálogo o al Libro rojo.

También se ha considerado importante valorar la importancia socioeconómica de algunas especies. En este sentido no solo se computa su importancia cinegética, relevante en algunas especies de aves, sino también su relevancia social, es decir, aquellas especies que presentan planes de conservación o recuperación establecidos en zonas próximas por las diferentes administraciones o que estén especialmente valoradas por la población, aunque su grado de amenaza no sea muy elevado (colonias de aves especialmente queridas por la población local, etc.).

- Variable Importancia conservación (Valor máximo 9): Catálogo y Libro Rojo.
- Variable socioeconómica (Valor máximo 1): especie con valor social (Especie con interés económico o de gestión= 1; especie sin interés económico o gestión = 0).

### Resultados:

Según la fórmula establecida, cada apartado presenta una valoración independiente. Así la constante PE podrá alcanzar un valor máximo de 2 (1 para VPG y 1 para UP) lo que quiere decir, que los parques más peligrosos multiplicarán por 2 el valor obtenido para cada especie. Así mismo, el valor de cada especie vendrá determinado por la suma de sus valores de sensibilidad SE (cuyo valor máximo es 10) y su valor inherente a su situación de conservación o interés VE (cuyo valor máximo también es 10).

Para la valoración definitiva se establecen dos tipos de valoraciones. **Valoración Total** y **Valoración Ponderada**. Según la metodología establecida, la escala resultante de valoración se sitúa entre 1 y 40. Evidentemente la obtención del valor mínimo 1, es prácticamente imposible. El valor máximo posible para una especie sería el obtenido al multiplicar el valor del Parque (máximo 2), y el de la especie (valor máximo 20), es decir 40, que resulta igualmente muy poco probable de obtener. Por ello se establece una Valoración Total a partir de una escala de referencia que nos permitirá establecer categorías de afección para las diferentes especies. Dichas categorías se establecerán mediante una clasificación creciente consistente en sumar al valor siguiente, al valor máximo de la categoría anterior, tal y como figura en la tabla 2. Dicha clasificación permitirá incluir en las categorías más sensibles un mayor número de valores (obsérvese que la categoría IV incluye el 50% de los valores posibles), minimizando el sesgo que se produce al incluir una fórmula con tantas variables consideradas.

Se propone, también, el establecimiento de una valoración ponderada de los resultados. Mediante este tipo de valoración podremos establecer la jerarquía de afección sobre las diferentes especies presentes en la zona. A La especie que muestre el mayor valor se le otorgará el valor 1 y el resto de especies presentarán un valor ponderado respecto a este valor máximo.

### Conclusión y Discusión:

Con el fin de facilitar la aplicación de la fórmula se desarrolla el software (SPECIES). Dicho software permite la incorporación de los datos que caracteriza a cada Parque Eólico y del listado de especies observada (con sus valores respectivos) de forma cómoda, evitando tener que realizar la formulación por parte de los técnicos. Dicha formulación se realiza de forma interna generando, al

final del proceso, un informe final que integra toda la información, incluyendo la clasificación de sensibilidad de cada especie incluida (figura 2).

### Referencias / Bibliografía:

1. Atienza, J.C.; Martín Fierro, I.; Infante, O., Valls, J. y Dominguez, J. 2011. *Directrices para la evaluación del impacto de los parques eólicos en aves y murciélagos (versión 3.0)*. Madrid: SEO/BirdLife. 117 pp
2. Band, W.; Madders, M. y Whitfield, D.P. 2009. Desarrollo de métodos de campo y de análisis para evaluar el riesgo de colisión de las aves en parques eólicos. En M. De Lucas, G. Janss, y M. Ferrer, *Aves y Parques Eólicos*. Edit. Quercus. Madrid. 291 pp
3. Barrios, L. y Rodríguez, A. 2004. Behavioural and environmental correlates of soaring-bird mortality at on-shore wind turbines. *Journal of Applied Ecology*, 41 , 72–81.
4. Beston JA, Diffendorfer JE, Loss SR, Johnson DH. 2016. Prioritizing Avian Species for Their Risk of Population-Level Consequences from Wind Energy Development. *PLoS ONE* 10: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150813>
5. Council of Europe. 2004. Recommendation on minimising adverse effects of wind power generation on birds and bats
6. De Lucas Castellano, M. 2007. Aves y parques eólicos: efectos e interacciones. Universidad Autónoma de Madrid. Tesis Doctoral. Pp 102
7. De Lucas, M; Janss, G.F.E. y Ferrer, M. 2004. The effects of wind farm on birds in a migration point: the Strait of Gibraltar. *Biodiversity and Conservation*, 13 , 395–407.
8. Desholm, M. 2009. Avian sensitivity to mortality: Prioritising migratory bird species for assessment at proposed wind farms. *Journal of Environmental Management* 90: 2672–2679 doi:10.1016/j.jenvman.2009.02.005
9. Drewitt, A.L. y Langston, R.H.W. 2006. Assessing the impacts of wind farms on birds. *Ibis*, 148, 29–42
10. Edkins, M.T. (ed.) 2008. Impacts of wind energy. Development on birds and bats: Looking into the problema. *FPL energy*. 44 pp
11. Gill, J.A.; Norris, K. y Sutherland, W.J. 2001. Why behavioural responses may not relect the population consequences of human disturbance. *Biological Conservation*, 97 , 265–268.
12. Huso, M.M.P. 2010. An Estimator of Wildlife Fatality from Observed Carcasses. *Environmetrics*. Wiley Blackwell. DOI:10.1002/env.1052
13. Huso, M.; Dalthorp, D., Miller, T.J. y Bruns, D. 2016. Wind energy development: methods to assess bird and bat fatality rates postconstruction. *Human–Wildlife Interactions* 10(1):62–70.
14. Katzner, T.; Bennett, V.; Miller, T.; Duerr, A.; Braham, M. Y Hale, A. 2016. Wind energy development: methods for assessing risks to birds and bats pre-construction. *Human–Wildlife Interactions* 10(1):42–52
15. Korner–Nievergelt, F.; Korner–Nievergelt, P.; Behr, O.; Niermann, I.; Brinkmann.R. and Hellriegel, B. 2011– A new method to determine bird and bat fatality at wind energy turbines from carcass searches. *Wildlife. Biology*. 17: 350–363. DOI: 10.2981/10–121
16. Korner–Nievergelt, F., R Brinkmann, I Niermann, y O. Behr. 2013. Estimating bat and bird mortality occurring at wind energy turbines from covariates and carcass searches using mixture models. *PLoS ONE*. doi: 10.1371/journal.pone.0067997

17. Lekuona, J. 2001. Uso del Espacio por la avifauna y control de la mortalidad de aves y murciélagos en los parques eólicos de Navarra durante un ciclo anual. Departamento de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Vivienda. Gobierno de Navarra.
18. Lekuona, J.M. y Ursúa C. 2009. Mortalidad de aves en Parques Eólicos de Navarra (norte de España). En M. De Lucas, G. Janss, y M. Ferrer, *Aves y parques eólicos*. Edit. Quercus. Madrid. 291 pp
19. Marques, A.T., Batalha, H., Rodrigues, S., Costa, H., Ramos Pereira, M.J., Fonseca, C., Mascarenhas, M. y Bernardino, J. 2014. Understanding bird collisions at wind farms: An updated review on the causes and possible mitigation strategies. *Biological Conservation* 179: 40–52. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2014.08.017>
20. Perón, G., Hines, J.E., Nichols, J.D., Kendall, W.L., Peters, K.A. y Mizrahi, . 2013. Estimation of bird and bat mortality at wind–power farms with superpopulation models. *Journal of Applied Ecology*. Doi: 10.1111/1365–2664.12100
21. Refoyo, P.A. 2009. Estudios Faunísticos en la Comunidad de Madrid: Manual para la Inventariación y Valoración 96 Pp. Ibersaf Industrial, S.L. ISBN:978–84–612–9060–4
22. Shaffer J.A. y Buhl, D.A. 2015. Effects of wind–energy facilities on breeding grassland bird distributions. *Conservation Biology*, Volume 30, No. 1, 59–71DOI: 10.1111/cobi.12569.
23. Schaub, M. 2012. Spatial distribution of wind turbines is crucial for the survival of red kite populations. *Biological Conservation* 155 (2012) 111–118. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2012.06.021>
24. Smallwood, K S.;Rugge, L.;Morrison, M. L 2009. Influence of Behavior on Bird Mortality in Wind Energy Developments. *Journal of Wildlife Management*; 73, 7; ProQuest. pg. 1082
25. Sterner, D.; Orloff, S. y Spiegel, L. (2009). Investigación sobre colisión con aerogeneradores en Estados Unidos. En M. De Lucas, G. Janss, y M. Ferrer, *Aves y Parques Eólicos*. Edit. Quercus. Madrid. 291 pp
26. Thelander,C.G. y Shawn Smallwood, K. 2009. Altamont Pass: Un ejemplo de los efectos de los parques eólicos sobre las aves. En M. De Lucas, G. Janss, y M. Ferrer, *Aves y Parques Eólicos*. Edit. Quercus. Madrid. 291 pp
27. Tucker, V.A. 1996. A mathematical model of bird collisions with wind turbine rotors. *Journal of solar Energy Engineering*. 118: 253–262.
28. Wing Goodale, M. y Stenhouse, I.J. 2016. A conceptual model to determine vulnerability of wildlife populations to offshore wind energy development *Human–Wildlife Interactions* 10(1):53–61
29. Winkelman, J. 1985. Bird impacto by middle–size wind turbines on flight behaviour victims and disturbance. *Limosa*, 58 , 117–121.
30. Wolpert, R. L. 2012. A partially periodic equation for estimating avian mortality rates. Appendix A In Improving Methods for estimating fatality of birds and bats at wind energy facilities. *California Wind Energy Association*.

**Figuras y Tablas:**

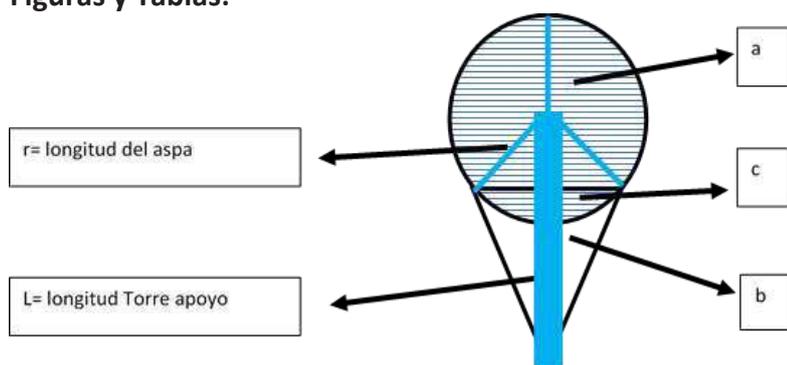


Figura 1. Esquema y valores para calcular el área de afección de cada aerogenerador

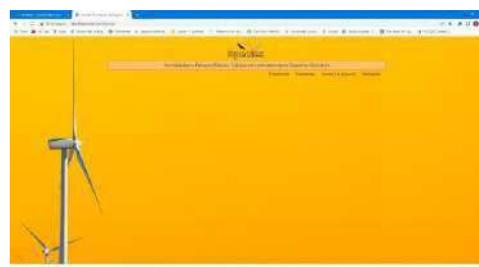


Figura 2. Diseño software SPECIES

Nivel Protección (Catálogo)	VALOR	Grado Amenaza (Libro Rojo)	VALOR
EN: En peligro	9	CR: Peligro crítico	9
V: Vulnerable	8	E: En peligro	8
ESPE: Especie singular en Protección Especial	3	V: Vulnerable	6
SC: Sin Catalogación	1	NT : Casi Amenazadas	4
		DD: Sin Datos	2
		LC: No Amenazada	1
		NE: No Evaluada	1
		NC: No Catalogada	1

Tabla 1 Valores otorgados a las diferentes catalogaciones o grado de amenaza. (Clasificación modificada (21)).

CLASE	Valor obtenido	Valor creciente
Clase I: Poco Sensible	0-5	
Clase II: Sensible	5,1-10	5
Clase III: Muy Sensible	10,1-20	10
Clase IV: Extremadamente Sensible	20,1-40	20

Tabla 2: Valoración Clasificada de las especies con valor creciente

## PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE CAPACIDAD DE ACOGIDA MEDIANTE HERRAMIENTAS GIS Y EL ANÁLISIS CUANTITATIVO DE ALTERNATIVAS

Rodríguez García, J.; Pérez García, J.R. ; Sánchez Arango, M. ; Granero Castro, J.  
TAXUS MEDIO AMBIENTE S.L., jrodríguez@taxusmedioambiente.com, Oviedo (Asturias)

**Palabras clave:** GIS; Capacidad de acogida; Análisis cuantitativo; Alternativas; Mapa de síntesis.

### Resumen:

La determinación de la capacidad de acogida del territorio frente a un proyecto, resulta de gran utilidad durante el proceso de análisis cuantitativo de alternativas.

Se define como capacidad de acogida del territorio a la aptitud o grado de idoneidad del mismo en función de los elementos físicos, ambientales y sociales que lo conforman para admitir distintas actividades, teniendo en cuenta las características del proyecto.

Mediante el empleo de herramientas GIS, se plantea la elaboración de una serie de planos temáticos para cada uno de los factores del medio a considerar, cuya combinación generará una serie de planos de síntesis: física, ambiental-cultural y territorial.

Mediante el cruce de las diferentes alternativas con el plano de Síntesis Global, es posible analizar cuantitativamente cada alternativa objeto de estudio y elegir la mejor de ellas.

### Introducción:

La determinación de la capacidad de acogida de un territorio frente a un proyecto, representa una herramienta de gran utilidad durante el proceso de análisis cuantitativo de alternativas, definiéndose ésta como la aptitud o grado de idoneidad del mismo en función de elementos físicos, ambientales y sociales que lo conforman para admitir distintas actividades.

Así, a través del cruce de las diferentes alternativas con el plano de síntesis global, es posible analizar cuantitativamente cada alternativa objeto de estudio y elegir la mejor de ellas en base a una compilación de criterios.

### Material y Métodos:

Para el desarrollo de la metodología se hace necesario disponer de sistemas de información geográfica que permitan la conversión de la cartografía vectorial a ráster (rasterización), la realización de operaciones de reasignación o reclasificación y el álgebra de mapas.

La rasterización consiste en transformar la información contenida en una capa vectorial a una capa ráster (matriz de celdas o píxeles organizadas en filas y columnas) de acuerdo a la información contenida en un campo numérico creado anteriormente de acuerdo a la evaluación realizada de cada elemento del territorio estudiado (Figura 1).

Las operaciones de reasignación o reclasificación de una capa ráster, son necesarias para poder unificar las valoraciones establecidas de cada variable. Así, si se cuenta con cartografía de naturaleza ráster, será necesario reclasificarla para disponer de la misma estructura/valoración que en el resto de variables usadas (véase el caso de la pendiente). Asimismo, se deberán de establecer unos rangos que permitan asignar la misma puntuación que en el caso de las variables vectoriales (Figura 2).

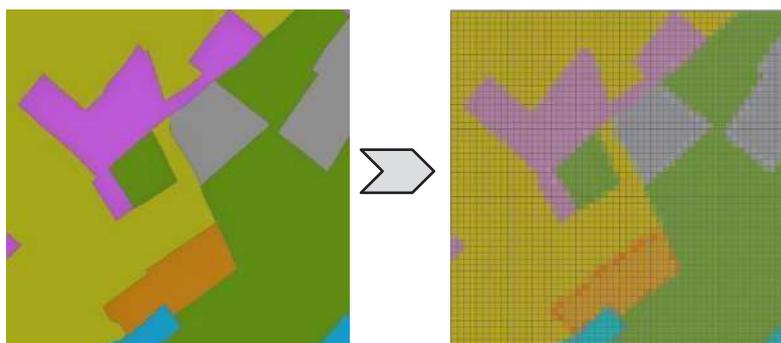


Figura 1. Rasterización: conversión de una capa vectorial a formato ráster  
Fuente: elaboración propia.

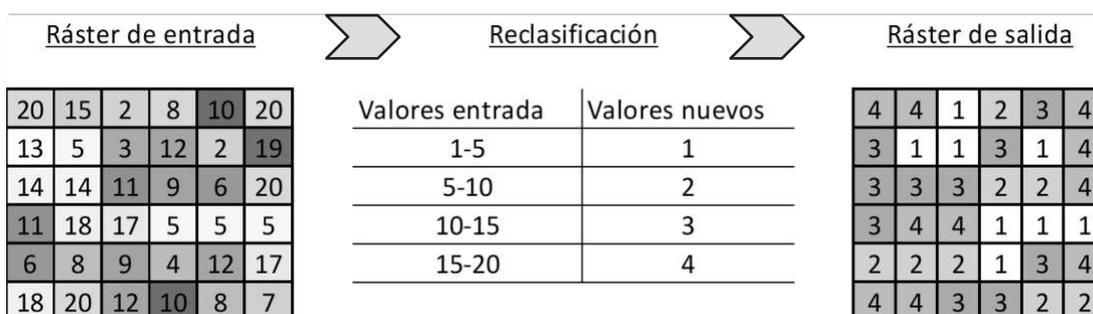


Figura 2. Proceso de reclasificación de una capa ráster.  
Fuente: elaboración propia.

Por último, el álgebra de mapas consiste en el uso de herramientas que permitan la combinación de las capas obtenidas tras los procesos de rasterización y reclasificación, obteniendo un mapa final que combina todas las variables estudiadas píxel a píxel.

A continuación, para el desarrollo de la metodología empleada se expone el caso práctico de un proyecto de duplicación de una carretera entre dos núcleos urbanos, a través del estudio de 8 corredores como alternativas.

Cabe mencionar, que la aplicación de esta metodología solo se podrá realizar en las zonas del territorio donde no esté prohibido expresamente el desarrollo del proyecto analizado. Las áreas donde no se pudiera ubicar dicha actividad quedarían excluidas directamente del análisis.

Una vez descritos y analizados los principales elementos del medio ambiente que pueden verse afectados por la ejecución del proyecto, se procede a ponderar las variables de acuerdo a la mayor o menor capacidad de acogida del territorio. Cada capa presenta una tipología de elementos a valorar, haciéndose necesario implementarles un campo numérico y asignarles una puntuación. En este caso se han establecido los siguientes niveles de capacidad de acogida: MUY BAJA-1 (rojo), BAJA-2 (naranja), MEDIA-3 (amarillo), ALTA-4 (verde).

El proceso consiste en la realización de tres planos de síntesis: FÍSICA, AMBIENTAL-CULTURAL y TERRITORIAL. De acuerdo a las variables consideradas, se procede a asignar valores de 1 a 4 según la capacidad de acogida sea muy baja o alta (respectivamente), para cada uno de los elementos del medio, definiendo los criterios que se emplean en la asignación. Seguidamente, se procede a realizar una integración ráster de las capas que conformarán cada plano de síntesis para posteriormente reclasificar dicha capa de forma que se obtenga un plano GLOBAL (Figura 3).

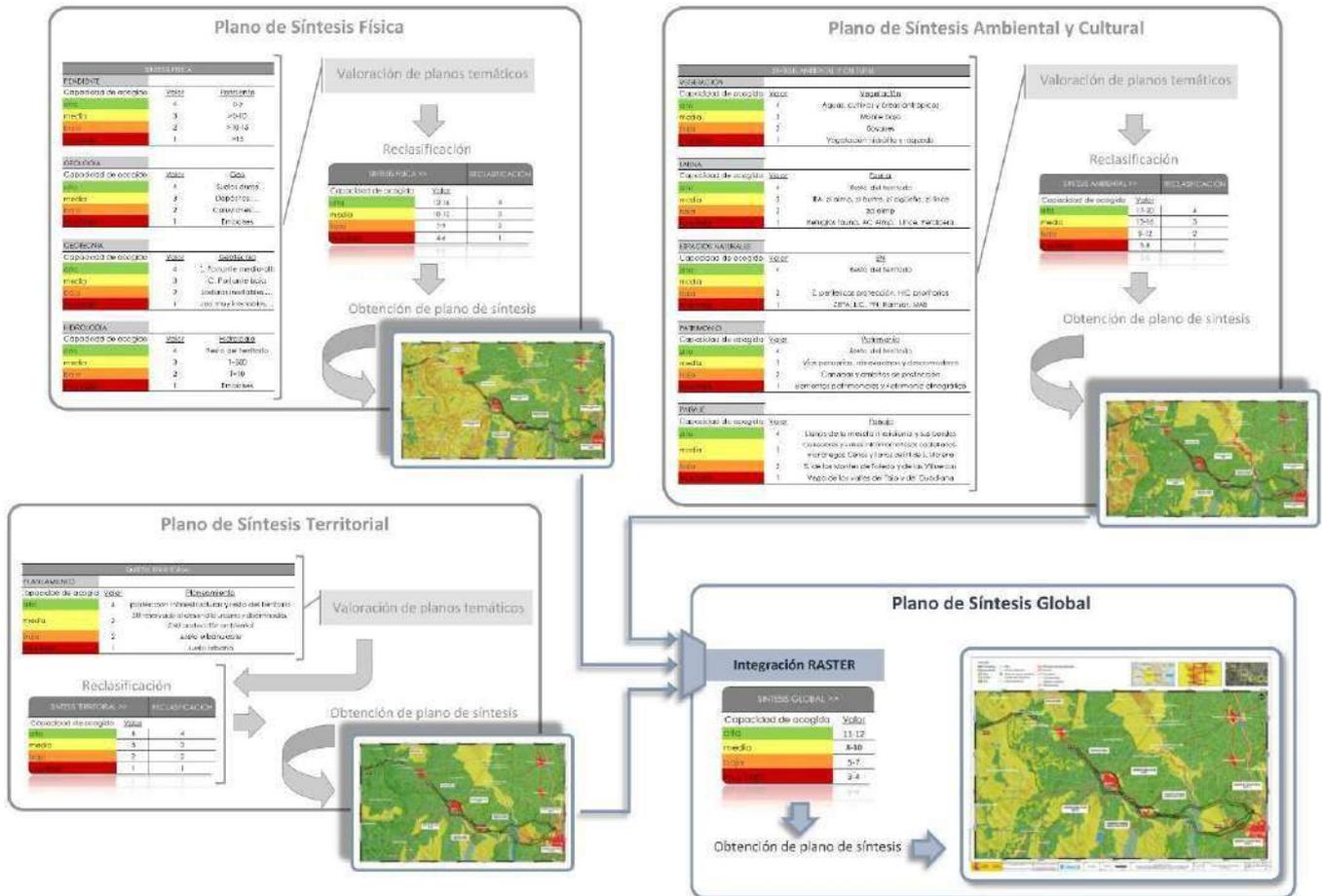


Figura 3. Esquema general del proceso.

### 1.- Plano de Síntesis Física

Para la elaboración del plano de síntesis física se ha considerado la siguiente información cartográfica: pendiente, geología, geotecnia e hidrología.

Cada variable considerada es rasterizada por el valor de capacidad de acogida establecido según los criterios determinados. Una vez obtenidos los planos temáticos (Figura 4) en formato ráster (ya valorados), se integran conjuntamente y se vuelven a reclasificar para obtener el plano de síntesis física (Figura 5), donde los valores van de 1 a 4 según la menor o mayor capacidad de acogida del territorio para el proyecto objeto de estudio (Tabla 1, Tabla 2).



Figura 4. Planos temáticos de las variables para la realización del plano de síntesis física.

SÍNTESIS FÍSICA		
<b>PENDIENTE</b>		
Capacidad de acogida	<u>Valor</u>	<u>Pendiente (%)</u>
Alta	4	0-5
media	3	>5-10
baja	2	>10-15
muy baja	1	>15
<b>GEOLOGIA</b>		
Capacidad de acogida	<u>Valor</u>	<u>Geología</u>
Alta	4	Suelos duros, materiales cohesivos y granulares, ...
media	3	Dep. poca coherencia, abanicos aluviales, ...
baja	2	Coluviones, derrubios de ladera, canchales, ...
muy baja	1	Resto del territorio
<b>GEOTECNIA</b>		
Capacidad de acogida	<u>Valor</u>	<u>Geotecnia</u>
Alta	4	Cap. portante media-alta
media	3	Cap. portante baja-muy baja
baja	2	Laderas inestables
muy baja	1	Laderas muy inestables
<b>HIDROLOGÍA</b>		
Capacidad de acogida	<u>Valor</u>	<u>Hidrología</u>
Alta	4	Resto del territorio
media	3	T=500
baja	2	T=10
muy baja	1	Embalses

Tabla 1. Parámetros, valoración y criterios considerados en la elaboración del plano de síntesis física.

SÍNTESIS FÍSICA	RECLASIFICACIÓN
Capacidad de acogida	<u>Valor</u>
alta	13-16
media	10-12
baja	7-9
muy baja	4-6

Tabla 2. Valores de reclasificación tras la unificación de las variables físicas.

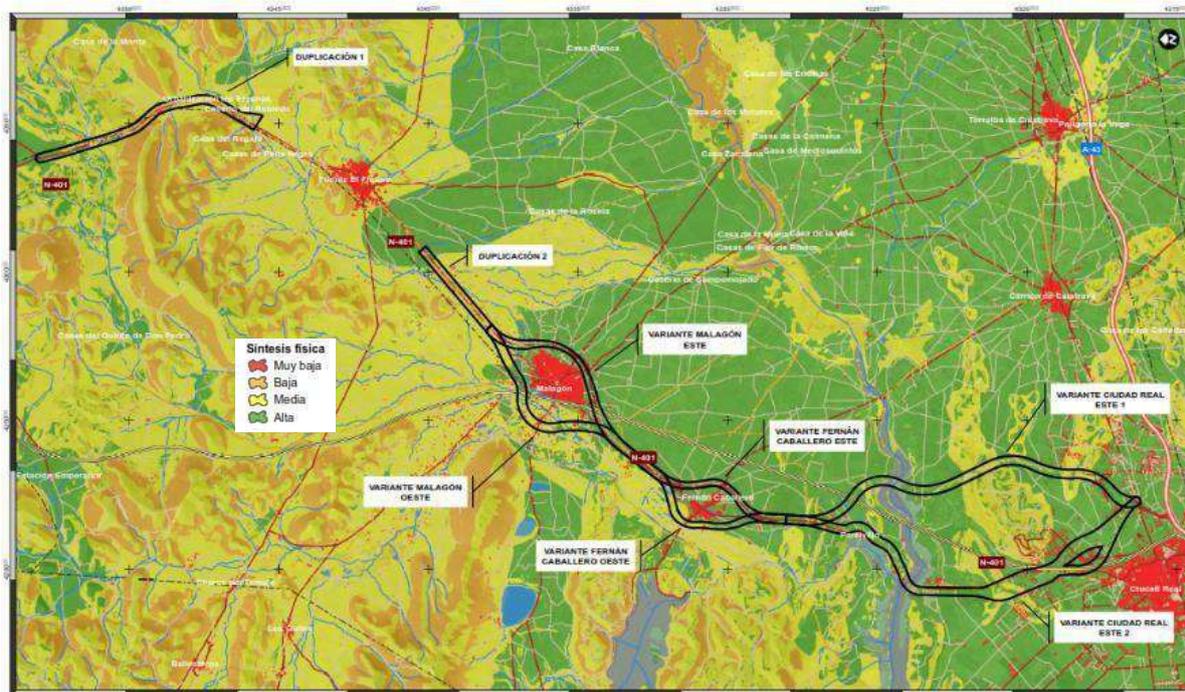


Figura 5. Plano de síntesis física.

## 2.- Plano de Síntesis Ambiental-Cultural

En esta etapa se considera la información ambiental y cultural referida a vegetación, fauna, espacios protegidos, patrimonio cultural y paisaje (Figura 6). Al igual que para el plano de síntesis física, se establecen los criterios para asignar la valoración (Tabla 3), y se procede a su rasterización.

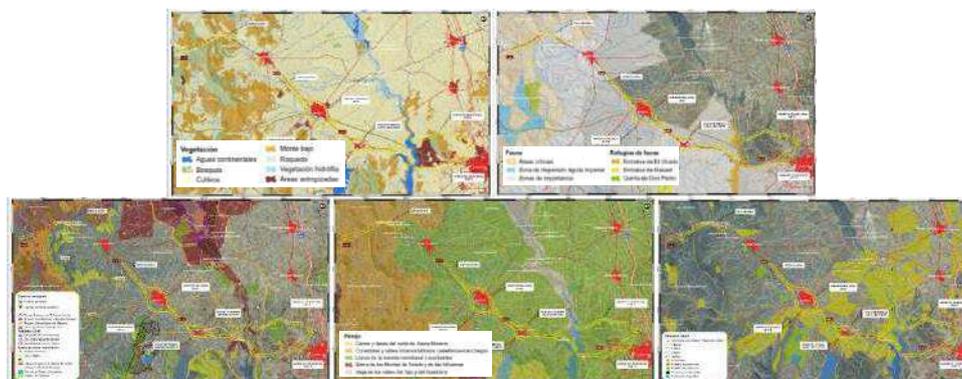


Figura 6. Planos temáticos integrados para la obtención del plano de síntesis ambiental-cultural.

Las capas de cada elemento del medio considerado (vegetación, fauna, espacios, etc.), son clasificadas en función de los criterios de aptitud preestablecidos, y se les asigna el valor correspondiente de capacidad de acogida (según la mayor o menor aptitud del territorio para acoger el proyecto).

Una vez que se tienen las capas valoradas, se rasterizan, se ejecuta un sumatorio de las mismas, y se vuelve a reclasificar para que los valores resultantes vayan de 1 a 4 (muy baja-alta capacidad de acogida). Se obtiene así el mapa de síntesis ambiental-cultural (Figura 7).

<b>SÍNTESIS AMBIENTAL Y CULTURAL</b>		
<b>VEGETACIÓN</b>		
Capacidad de acogida	<u>Valor</u>	<u>Vegetación</u>
Alta	4	Aguas, cultivos, áreas antrópicas
Media	3	Monte bajo
Baja	2	Bosques
muy baja	1	Vegetación hidrófila y roquedo
<b>FAUNA</b>		
Capacidad de acogida	<u>Valor</u>	<u>Fauna</u>
Alta	4	Resto del territorio
Media	3	IBA y zona de importancia de especies protegidas
Baja	2	Zona de dispersión águila imperial
muy baja	1	Refugios fauna, áreas críticas
<b>ESPACIOS NATURALES</b>		
Capacidad de acogida	<u>Valor</u>	<u>Espacios naturales</u>
alta	4	Resto del territorio
media	3	-
baja	2	Zonas periféricas de protección, HIC prioritarios
muy baja	1	RN2000, PN, Ramsar, MaB
<b>PATRIMONIO</b>		
Capacidad de acogida	<u>Valor</u>	<u>Patrimonio</u>
alta	4	Resto del territorio
media	3	VVPP, abrevaderos y descansaderos
baja	2	Cañadas, ámbitos de protección
muy baja	1	Elementos patrimoniales y etnográficos
<b>PAISAJE</b>		
Capacidad de acogida	<u>Valor</u>	<u>Paisaje</u>
alta	4	Llanos de la meseta meridional y sus bordes
media	3	Cerros y llanos del N. de S. Morena y Corredores y valles intramontañosos Castellano Manchegos
baja	2	Sierras de los Montes de Toledo y de las Villuercas
muy baja	1	Vega del Guadiana-Cigüela y Tablas de Daimiel

Tabla 3. Parámetros, criterios y valoración contenida en el plano de síntesis ambiental-cultural.

<b>SÍNTESIS AMBIENTAL-CULTURAL RECLASIFICACIÓN</b>		
Capacidad de acogida	<u>Valor</u>	
alta	17-20	4
media	13-16	3
baja	9-12	2
muy baja	5-8	1

Tabla 4. Valores de reclasificación del mapa de síntesis ambiental-cultural.

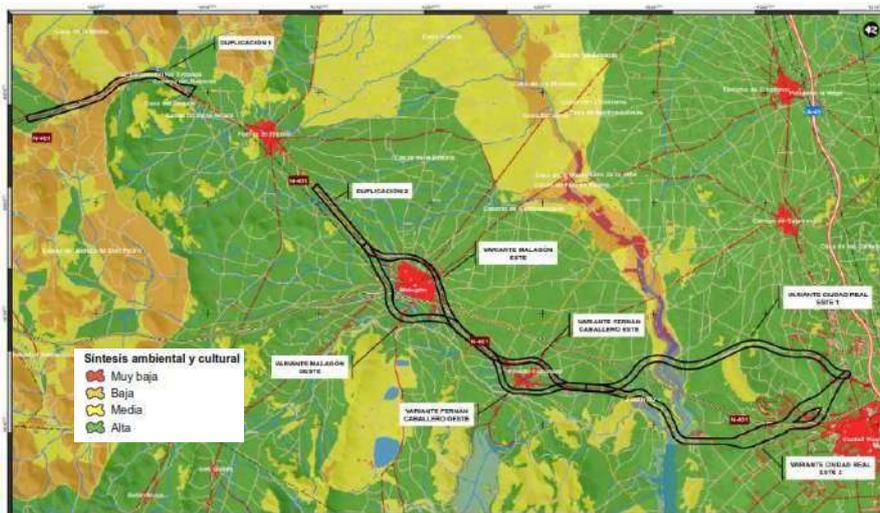


Figura 7. Plano de síntesis ambiental-cultural.

### 3.- Plano de Síntesis Territorial

En este caso, este plano únicamente incorpora la información relativa al planeamiento urbanístico (Figura 8).

Al tratarse de una única variable, directamente se clasifica de acuerdo a los criterios preestablecidos (Tabla 6). Dependiendo de la clasificación urbanística de suelo tendrá una mayor o menor aptitud para acoger las instalaciones y se le asignará el valor correspondiente.

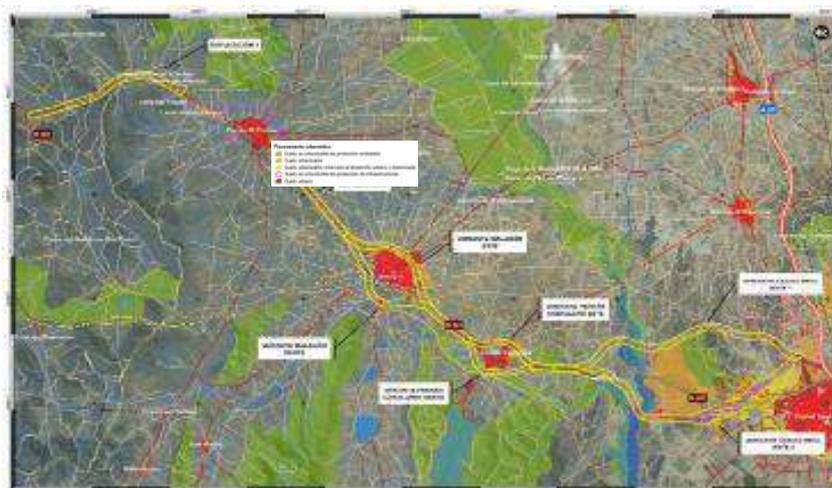


Figura 8. Planeamiento urbanístico del territorio de estudio.

SÍNTESIS TERRITORIAL		
PLANEAMIENTO URB.		
Capacidad de acogida	Valor	Planeamiento urbanístico
Alta	4	SNU, S. protección infraestructuras
Media	3	SU reservado al desarrollo urbano y diseminados
Baja	2	Suelo urbanizable
muy baja	1	Suelo urbano

Tabla 5. Criterios y valoración contenida en el plano de síntesis territorial.

SÍNTESIS TERRITORIAL		RECLASIFICACIÓN	
Capacidad de acogida	Valor		
Alta	4		4
Media	3		3
Baja	2		2
muy baja	1		1

Tabla 6. Valores de reclasificación del mapa de síntesis territorial.

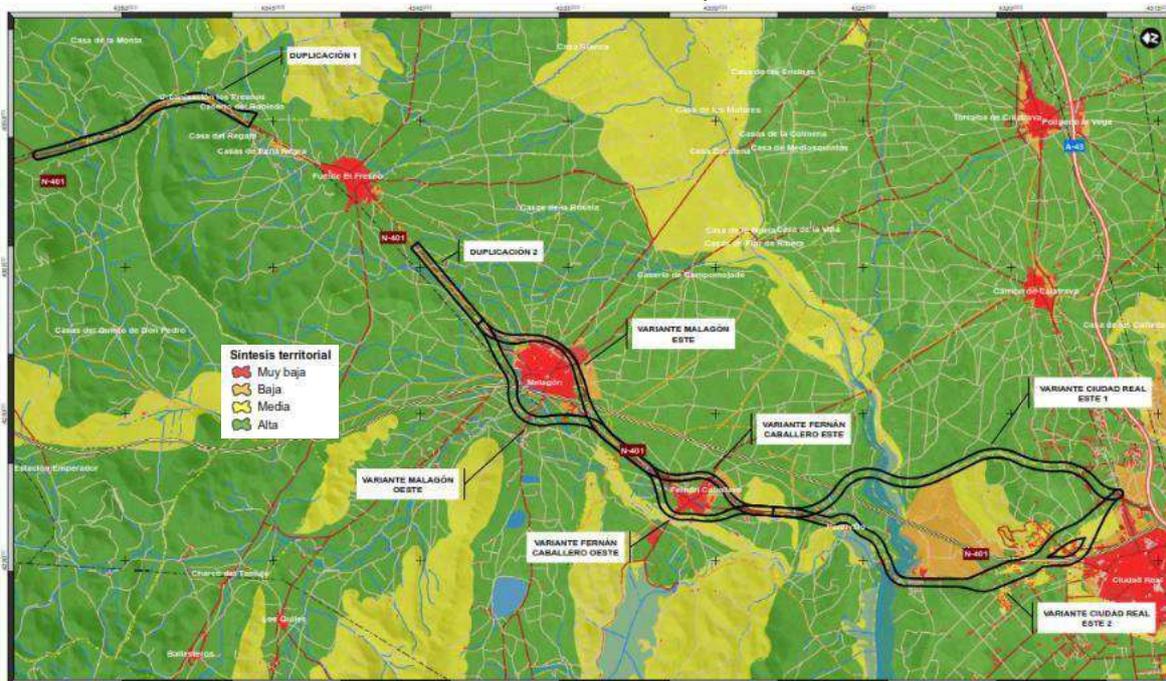


Figura 9. Plano de síntesis territorial.

Si en esta fase se integraran más variables, se debería realizar la unión de la información en una única capa que será reclasificada y constituirá el plano de síntesis territorial (Figura 9), al igual que en los casos anteriores.

#### 4.- Plano de Síntesis Global

Para finalizar el proceso, mediante una integración ráster del conjunto de planos obtenidos, se consigue un plano de síntesis global, que integra la información de todas las capas cartográficas de los elementos del medio que han sido objeto de estudio. De acuerdo al sumatorio de valores, se establecen las categorías finales de acogida (Figura 10). Del mismo modo que en los planos de síntesis intermedios, se agrupan los valores de capacidad de acogida para establecer las clases finales (Tabla 7), obteniendo así el plano de síntesis global (Figura 11).



Figura 10. Integración final del proceso.

SÍNTESIS GLOBAL	
Capacidad de acogida	Valor
alta	11-12
media	8-10
baja	5-7
muy baja	3-4

Tabla 7. Valores de reclasificación del mapa de síntesis global.

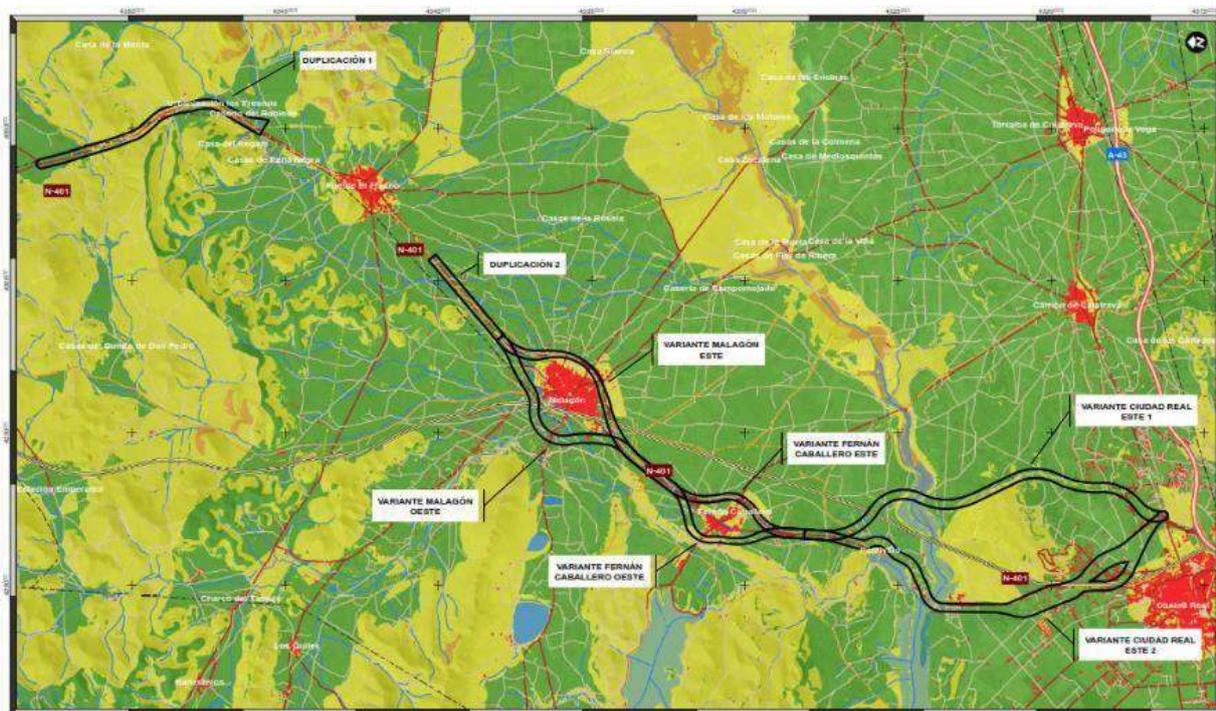


Figura 11. Plano de síntesis global.

**Resultados:**

Mediante el análisis del plano de síntesis global y su cruce con las alternativas del proyecto, es posible analizar cada alternativa para determinar los potenciales impactos ambientales.

El cálculo de superficies totales de alta o baja capacidad de acogida, sirve de base para la discusión de alternativas del proyecto, así como para obtener un orden de las mismas en relación a su mayor o menor aptitud, tal y como se muestra en la tabla anexa (Tabla 8).

Así, en el caso que nos ocupa, se obtiene que una de las alternativas tiene muy baja capacidad de acogida frente al resto, la alternativa 3 tiene una baja capacidad, dos alternativas tienen capacidad media y cuatro, alta capacidad de acogida. De esto se puede extraer, que las alternativas óptimas a desarrollar en futuros estudios serían las alternativas: Alt. 2, Alt. 5, Alt. 6 y Alt. 8.

ALTERNATIVA	CAPACIDAD DE ACOGIDA	SUPERFICIE OCUPADA (m <sup>2</sup> )	SUPERFICIE TOTAL (m <sup>2</sup> )	%	CAPACIDAD TOTAL DE ACOGIDA	PRIORIZACIÓN DE ALT. SEGÚN LA CAP. DE ACOGIDA
Alt. 1	ALTA MEDIA BAJA	215.900 1.686.387 0	1.902.287	11% 89% 0%	MEDIA	6 <sup>a</sup>
Alt. 2	ALTA MEDIA BAJA	2.253.292 24.670 0	2.277.962	99% 1% 0%	ALTA	2 <sup>a</sup>
Alt. 3	ALTA MEDIA BAJA	0 314.071 1.230.170	1.544.241	0% 20% 80%	BAJA	7 <sup>a</sup>
Alt. 4	ALTA MEDIA MUY BAJA	1.351.560 68.984 1.351.560	1.420.544	0% 5% 95%	MUY BAJA	8 <sup>a</sup>
Alt. 5	ALTA MEDIA BAJA	5.863.824 256.583 0	6.120.407	96% 4% 0%	ALTA	3 <sup>a</sup>
Alt. 6	ALTA MEDIA BAJA	3.457.790 459.577 15.780	3.933.147	88% 12% 0%	ALTA	4 <sup>a</sup>
Alt. 7	ALTA MEDIA BAJA	1.589.648 902.887 0	2.492.535	64% 36% 0%	MEDIA	5 <sup>a</sup>
Alt. 8	ALTA MEDIA BAJA	1.029.798 6.999 0	1.036.797	99% 1% 0%	ALTA	1 <sup>a</sup>

Tabla 8. Resultados de la valoración de la capacidad de acogida.

### Discusión y Conclusiones:

Los estudios de capacidad de acogida realizados en fases previas al desarrollo de proyectos:

- Sirven para la toma de decisiones en cuanto a la elección de emplazamientos, con el fin de minimizar las afecciones sobre el medio natural.
- Son una buena herramienta para la evaluación de alternativas de forma sistemática.
- Las variables consideradas pueden ser ajustadas de acuerdo a las posibles afecciones que sobre el medio natural puede ejercer el proyecto.

La metodología aquí presentada fue realizada para un proyecto en cuestión, requiere adaptaciones según el tipo de proyecto, y si fuera necesario, ponderación de las distintas variables de acuerdo a la mayor o menor importancia en relación al caso concreto de estudio.

## ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DE PROYECTOS FRENTE A ACCIDENTES GRAVES O CATÁSTROFES: EL NUEVO RETO INTRODUCIDO POR LA LEY 9/2018

Sánchez Arango, M.; Rodríguez García, J.; Pérez García, J.R.; Granero Castro, J.  
TAXUS MEDIO AMBIENTE S.L., msanchez@taxusmedioambiente.com, Oviedo (Asturias)

**Palabras clave:** Vulnerabilidad; Riesgos; Accidentes graves; Catástrofes; Impacto ambiental.

### Resumen:

La Ley 9/2018, de 9 de diciembre, por la que se modifica (entre otras) la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, incluye la necesidad de valorar la vulnerabilidad de un determinado proyecto, definiendo específicamente esta como *“las características físicas de un proyecto que pueden incidir en los posibles efectos adversos significativos que sobre el medio ambiente se puedan producir como consecuencia de un accidente grave o una catástrofe”*.

El trabajo desarrollado presenta una metodología específica para su valoración, la cual se fundamenta en las siguientes fases secuenciales:

1. El análisis de los riesgos identificados en la zona de implantación considerada (riesgos de incendio forestal, de inundaciones, riesgos sísmicos, de inestabilidad de laderas, etc.) así como de la susceptibilidad y peligrosidad de los mismos en la zona a estudio.
2. El análisis de los riesgos ambientales asociados a un proyecto determinado.

La interrelación de los datos obtenidos en las dos fases anteriores permitirá concluir si las características de las instalaciones proyectadas o la actividad posteriormente desarrollada tendrán implicaciones sobre los riesgos preexistentes en la zona (incremento del riesgo o de la susceptibilidad del medio al mismo) o si generarán nuevas situaciones potencialmente peligrosas para el medio ambiente o las personas.

### Introducción:

La Ley 21/2013, de evaluación ambiental (modificada por Ley 9/2018, Real Decreto-ley 23/2020 y Real Decreto-ley 36/2020) especifica, en su Anexo VI, que el Estudio de Impacto Ambiental (EslA) deberá contener:

*Una descripción de los efectos adversos significativos del proyecto en el medio ambiente a consecuencia de la **vulnerabilidad del proyecto ante el riesgo de accidentes graves y/o catástrofes relevantes**, en relación con el proyecto en cuestión (...)*

Definiéndose en su Artículo 5:

- “Vulnerabilidad del proyecto”: características físicas de un proyecto que pueden incidir en los posibles efectos adversos significativos que sobre el medio ambiente se puedan producir como consecuencia de un accidente grave o una catástrofe.
- “Accidente grave”: suceso, como una emisión, un incendio o una explosión de gran magnitud, que resulte de un proceso no controlado durante la ejecución, explotación,

desmantelamiento o demolición de un proyecto, que suponga un peligro grave, ya sea inmediato o diferido, para las personas o el medio ambiente.

- “Catástrofe”: suceso de origen natural, como inundaciones, subida del nivel del mar o terremotos, ajeno al proyecto que produce gran destrucción o daño sobre las personas o el medio ambiente.

**Material y Métodos:**

La metodología propuesta por TAXUS MEDIO AMBIENTE S.L. para la valoración de este concepto se fundamenta en las siguientes fases secuenciales:

**1 – Caracterización de la zona de implantación del proyecto**

**1a.- Identificación de riesgos y probabilidad de ocurrencia**

Inicialmente se precisa del análisis de los riesgos existentes en la zona de implantación considerada, en función de la información bibliográfica disponible.

Los riesgos se pueden clasificar según su origen en naturales, antrópicos o tecnológicos.

- Riesgos naturales: Son aquellos que tienen su origen en fenómenos naturales (factores geográficos y meteorológicos), siendo los accidentes que provocan múltiples y variados. Dado su origen, la presencia de esta clase de riesgos está condicionada cuantitativamente por las características particulares de cada región. A rasgos generales se pueden identificar los siguientes:

Inundaciones	Crecidas o avenidas
	Acumulaciones Pluviales
	Rotura de presas o daños graves
Movimientos gravitatorios	Desprendimientos
	Deslizamientos
	Hundimientos del terreno
Asociados a fenómenos atmosféricos	Nevadas
	Heladas
	Aludes
	Olas de frío
	Granizo
	Lluvias torrenciales
	Vendavales
	Oleaje en el mar
	Sequía
Incendios forestales	
Otros	Clima espacial

*Tabla 1. Tipos de riesgos naturales*

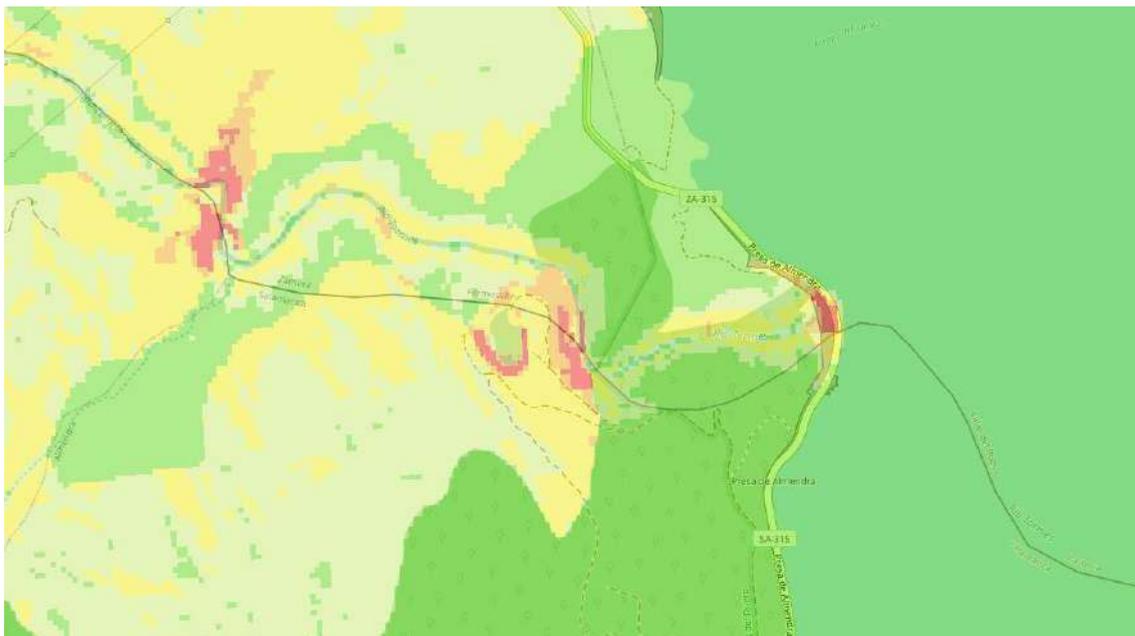


Figura 1. Susceptibilidad a deslizamientos superficiales de una zona de implantación modelo  
Fuente: Protección Civil de Castilla y León.



Figura 2. Ejemplo de Mapa de Riesgo de inundación (T100)  
Fuente: Mapas de peligrosidad por inundación. Confederación Hidrográfica del Cantábrico.

- **Riesgos antrópicos:** Son los producidos por actividades humanas que se han ido desarrollando a lo largo del tiempo. Están directamente relacionados con la actividad y el comportamiento del hombre. A rasgos generales se pueden identificar los siguientes:

Anomalías en el suministro que dependan de redes físicas	Agua	
	Gas	
	Electricidad	
	Teléfono	
	Otras redes	
Anomalías en el suministro de productos esenciales	Alimentos primarios	
	Productos farmacéuticos	
	Productos energéticos	
	Otros abastecimientos básicos	
Desplome o fallos en obra civil (edificios e infraestructura)	Incendios	Urbanos
		Industriales
		Forestales
	Accidentes asociados al transporte de personas y bienes	Accidente de carretera
		Accidente aéreo
		Accidente ferroviario
		Accidente marítimo
	Riesgos Sanitarios	Contaminación bacteriológica
		Intoxicaciones alimentarias
		Epidemias
		Plagas
	Incidentes o accidentes en localizaciones con problemas de accesibilidad:	Medio hídrico (ríos, lagos, embalses, costa, playas)
		Cavidades y subsuelo en general
Montaña		
Accidentes asociados a actividades deportivas		
Riesgos asociados al terrorismo		
Riesgos asociados a actos vandálicos	Riesgos asociados a grandes concentraciones humanas	Locales de pública concurrencia.
		Grandes concentraciones humanas.
Otros		

*Tabla 2. Tipos de riesgos antrópicos*

- **Riesgos Tecnológicos:** Son aquellos causados por la aplicación y/o uso de tecnologías desarrolladas por el hombre, consecuencia del progreso industrial. A rasgos generales se pueden identificar los siguientes:

Riesgos industriales	Fuga, incendio, explosión
	Incidencias en procesos industriales susceptibles de generar accidentes mayores
	Contaminación fluvial
	Contaminación de la capa freática o suelos en general
Riesgos en el transporte de mercancías peligrosas	Contaminación atmosférica
	Por carretera
	Por ferrocarril
Otros	Por vía marítima

*Tabla 3. Tipos de riesgos tecnológicos*

Para su análisis se deberá consultar, al menos, la siguiente información:

- Plan Estatal de Emergencias de Protección Civil
- Plan Territorial de Protección Civil (así como los Planes Especiales de Protección Civil, Planes de Emergencia y cualquier otro Plan de Protección existente) (1)
- Mapa geotécnico de Riesgos Geológicos del Instituto Geológico y Minero de España (2)
- Mapas de sismicidad y peligrosidad del Instituto Geográfico Nacional (3)
- Mapas de peligrosidad y de riesgo de inundación del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (4)
- Etc.

**1b.- Identificación de elementos vulnerables en la zona de implantación**

A continuación se procederá a analizar los elementos del medio susceptibles de ser afectados por los riesgos identificados en el apartado anterior:

- Localidades y población presente en la zona a estudio
- Espacios protegidos a niveles Internacional, Nacional, Regional o Local
- Elementos del patrimonio cultural
- Etc.

**1c.- Valoración de los riesgos identificados:**

La valoración de los riesgos identificados se desarrollará a través de su periodicidad de ocurrencia y de los daños previsibles en los elementos estimados sobre los elementos anteriores, según la siguiente fórmula:

$$\text{(Índice de Riesgo) IR} = \text{IP} \times \text{ID}$$

Donde:

Probabilidad de ocurrencia (IP)	
0	Inexistente
1	Sin constancia o menos de cada 30 años
2	Entre 10-30 años
3	Cada 10 años o menos
4	Una o más veces al año
Daños Previsibles (ID)	
0	Sin daños
1	Pequeños daños materiales o al medio ambiente (sin afectados)
2	Pequeños daños materiales o al medio ambiente (algún afectado o víctima mortal)
5	Importantes daños materiales o al medio ambiente y/o numerosos afectados con posibilidad de víctimas mortales
7	Daños materiales muy graves o daños irreparables al medio ambiente y posibilidad de elevado número de víctimas

*Tabla 4. Parámetros empleados en la valoración de riesgos*

Finalmente, el Nivel de cada Riesgo será clasificado según la siguiente escala:

IR	NIVEL DE RIESGO
>20	MUY ALTO
8-20	ALTO
4-8	MEDIO
0-4	BAJO

*Tabla 5. Escala de valoración del nivel de riesgo*

## **2 – Identificación de los riesgos asociados al proyecto y/o a la actividad proyectada**

En una segunda fase se procederá al análisis de los riesgos ambientales asociados al proyecto o actividad analizada, tanto en su fase de construcción como en explotación.

La Ley 21/2013 establece específicamente que “para este objetivo, podrá utilizarse la información relevante disponible y obtenida a través de las evaluaciones de riesgo realizadas de conformidad con otras normas, como la normativa relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves

en los que intervengan sustancias peligrosas (SEVESO), así como la normativa que regula la seguridad nuclear de las instalaciones nucleares”.

Al menos deberá ser consultada la siguiente documentación:

FASE	FUENTES DE INFORMACIÓN	
CONSTRUCCIÓN	Proyecto constructivo	
	Estudio geotécnico	
EXPLOTACIÓN	Sustancias peligrosas	Informes elaborados en aplicación del Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas
		Informes elaborados en aplicación del Real Decreto 1196/2003, de 19 de septiembre, por el que se aprueba la Directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas
	Radiaciones	Estudio de Seguridad desarrollado en aplicación del Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas

Tabla 6. Fuentes de información sobre los riesgos de un determinado proyecto

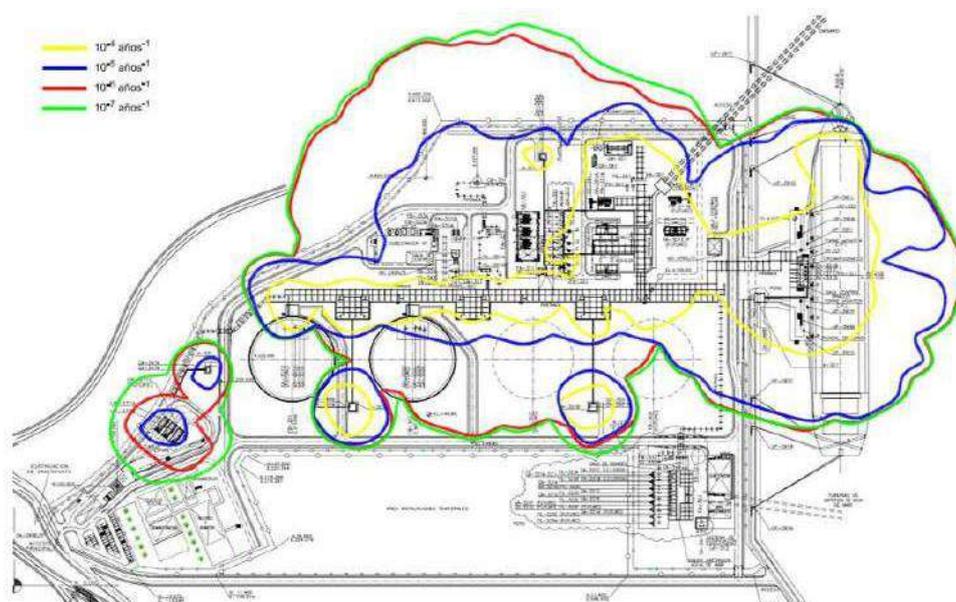


Imagen 3. Ejemplo de representación de curvas de isorriesgo (5) correspondientes a los valores  $10^{-4}$ /años (amarillo),  $10^{-5}$ /años (azul),  $10^{-6}$ /años (rojo) y  $10^{-7}$ /años (verde), representando un nivel de riesgo individual de mayor a menor valor, desde el interior hacia el exterior de la instalación

**Resultados:**

La interrelación de los datos obtenidos en las dos fases anteriores permitirá concluir si las características de las instalaciones proyectadas o la actividad posteriormente desarrollada tendrán implicaciones sobre los riesgos preexistentes en la zona (incremento del riesgo o de la susceptibilidad del medio al mismo) o si generarán nuevas situaciones potencialmente peligrosas para el medio ambiente o las personas.

La tabla siguiente presenta un ejemplo de todo el proceso descrito para una instalación genérica en una zona eminentemente forestal:

RIESGOS PREEXISTENTES EN UN ÁREA DE IMPLANTACIÓN MODELO	VULNERABILIDAD DE UN PROYECTO GENÉRICO		EFFECTOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE
Riesgo MUY ALTO de erosión	CONSTRUCCIÓN	Incremento de erosión y pérdida de suelos por movimientos de tierras	Pérdida de suelos Contaminación de aguas por partículas en suspensión
Riesgo ALTO de Incendios Forestales		Generación de chispas por uso de maquinaria	Incendios forestales
	Riesgo ALTO de Inundación	EXPLOTACIÓN	Incendio de instalaciones: - Pérdidas Materiales - Inflamación sustancias peligrosas
Inundación de instalaciones: - Vertidos de sustancias y materiales a cauces y suelos			Afección a calidad del agua Contaminación de suelos
Colapso de instalaciones: - Liberación de sustancias contaminantes			Contaminación de aguas, suelos, aire ... Riesgo para la salud
Riesgo ALTO por transporte de mercancías peligrosas		Afección a proceso productivo	Sin afección al medio (Afección económica)

*Tabla 7. Análisis de la vulnerabilidad de un proyecto modelo*

**Discusión y Conclusiones:**

La metodología presentada para el análisis de la vulnerabilidad de proyectos frente a accidentes graves o catástrofes parte del análisis de los riesgos preexistentes en la zona en la que se proyecta su implantación, desarrollándose posteriormente un análisis del proyecto en cuestión. Con ello se

estará en disposición de conocer la posible incidencia del proyecto o actividad sobre los efectos causados por las potenciales catástrofes naturales o accidentes graves, así como la definición de medidas preventivas y/o correctoras acordes a la realidad del medio y del proyecto analizado.

EJEMPLO DE VULNERABILIDAD DE UN PROYECTO		MEDIDAS DE PREVENCIÓN
CONSTRUCCIÓN	Incremento de erosión y pérdida de suelos por movimientos de tierras	Adecuado diseño del proyecto constructivo Riego de superficies Plantación de herbáceas Instalación de Geomallas
	Generación de chispas por uso de maquinaria	Prohibición de uso de fuego Mantenimiento adecuado de maquinaria Sistemas de prevención de incendios
EXPLOTACIÓN	Incendio de instalaciones	Diseño correcto de instalaciones Medidas preventivas específicas Planes de actuación ante emergencias
	Inundación de instalaciones	Diseño correcto de instalaciones Medidas preventivas y correctoras específicas (contención)
	Colapso de instalaciones	Diseño correcto de instalaciones Medidas preventivas y correctoras específicas (contención)
	Afección a proceso productivo	Medidas preventivas y correctoras específicas

Tabla 8. Medidas preventivas específicas para minimizar los riesgos y vulnerabilidades de un proyecto modelo

Se puede concluir por tanto que la metodología propuesta permite dar cumplimiento al requisito establecido por la Ley 9/2018 por la que se modifica (entre otras) la Ley 21/2013, en lo relativo al análisis de la vulnerabilidad del proyecto ante el riesgo de accidentes graves y/o catástrofes relevantes.

#### Referencias / Bibliografía:

- (1) Base de Datos de Planes de Emergencia: <http://www.proteccioncivil.es/bdplanes/index.php>
- (2) <http://info.igme.es/cartografiadigital/tematica/Geotecnico25.aspx>
- (3) <https://www.ign.es/web/mapas-sismicidad>
- (4) <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/mapa-peligrosidad-riesgo-inundacion/>
- (5) Isoriesgo: Una persona ubicada sobre una curva de isoriesgo de muerte de  $10^{-6}$ /año, generada por una industria cercana tiene una frecuencia de muerte de  $10^{-6}$  por año (0,000001) como consecuencia de esta actividad industrial.

## APLICACIÓN DEL MÉTODO PATTERN EN EL PROCESO DE ANÁLISIS CUANTITATIVO MULTICRITERIO DE LAS ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN DE LA EDAR ESTE DE GIJÓN (ASTURIAS)

Sánchez Arango, M.; Cordón Ezquerro, J.; Rodríguez García, J.; Granero Castro, J.  
TAXUS MEDIO AMBIENTE S.L., msanchez@taxusmedioambiente.com, Oviedo (Asturias)

**Palabras clave:** Alternativas; Comparativa cuantitativa; Análisis multicriterio; Impacto ambiental; Ley 21/2013, Método PATTERN.

### Resumen:

La Ley 21/2013 establece la necesidad de emplear métodos cuantitativos en la valoración de impactos siempre que sea posible.

La metodología desarrollada permite dar cumplimiento a este requerimiento, mediante la aplicación secuencial de las siguientes fases:

- Selección de objetivos específicos
- Definición de criterios de evaluación
- Definición de indicadores
- Definición de la regla de decisión

Una vez efectuada la homogeneización de los valores obtenidos para los distintos indicadores, se procede a realizar el análisis multicriterio mediante el método PATTERN (*Planning Assistance Technical Evaluation of Relevance Numbers*) que pertenece al grupo de los métodos de agregación total.

Esta metodología permite obtener un valor numérico para cada alternativa de forma que se pueda seleccionar como mejor opción aquella que presente un valor más elevado.

Ello se completa con un análisis de la robustez y sensibilidad de la elección.

### Introducción:

La Ley 21/2013, de evaluación ambiental, establece la necesidad de “cuantificar los efectos significativos de un plan, programa o proyecto sobre el medio ambiente (...) mediante datos mensurables” (...)

El presente trabajo describe la metodología desarrollada por TAXUS MEDIO AMBIENTE S.L. para la comparación cuantitativa de las alternativas planteadas para la EDAR (Estación de Depuración de Aguas Residuales) de Gijón Este (1), las cuales se describen a continuación:

- Alternativa 0: No realización del proyecto (mantener “situación de partida”: EPAR (Estación de Pretratamiento de Aguas Residuales) La Plantona).
- Alternativas de emplazamiento de la línea de aguas:
  - Evacuación de agua tratada al mar a través de emisario de Peñarrubia:
    - Alternativa 1 – ubicación de la nueva EDAR en la zona de “La Plantona”.
    - Alternativa 2 – ubicación de la nueva EDAR en la zona de “Cagonera”.
    - Alternativa 3 – ubicación de la nueva EDAR en la zona de “Peñarrubia”.
    - Alternativa 4 – ubicación de la nueva EDAR en la zona de “Rinconín”.

- Evacuación de agua tratada al mar a través del emisario de Aboño (manteniendo operativo el emisario de Peñarrubia para periodo de avenidas):
  - Alternativa 5 – ubicación de la nueva EDAR junto a la actual EDAR La Reguerona.
- Además, para los emplazamientos distintos a La Plantona (Alternativa 1) existen dos posibles funcionalidades:
  - Funcionalidad a: Ampliar el pretratamiento existente en la EPAR La Plantona y trasladar al emplazamiento de la EDAR (La Plantona, Cagonera, Peñarrubia, Rinconín o La Reguerona) el caudal máximo a tratar por el tratamiento biológico (1 m<sup>3</sup>/s).
  - Funcionalidad b: Mantener la EPAR de La Plantona para desbaste y bombeo de alivio al mar del exceso superior a 3 m<sup>3</sup>/s y trasladar el desarenado y desengrasado, al igual que el tratamiento biológico, al emplazamiento de la EDAR (La Plantona, Cagonera, Peñarrubia, Rinconín o La Reguerona), siendo para ello necesario el transporte de 3 m<sup>3</sup>/s hasta dicho emplazamiento.

La combinación de las seis alternativas y sus dos posibles funcionalidades resulta en un total de 10 alternativas:

ALT.	LÍNEA DE AGUAS			LÍNEA DE FANGOS	
	Tamizado	Desarenado-Desengrasado	Tratamiento Biológico		
0	-	EPAR La Plantona	-	-	
1	-	Ampliación EPAR La Plantona	Nueva EDAR La Plantona		EDAR La Reguerona
2	a	Ampliación EPAR La Plantona		Nueva EDAR Cagonera	EDAR La Reguerona
	b	Ampliación EPAR La Plantona	Nueva EDAR Cagonera		EDAR La Reguerona
3	a	Ampliación EPAR La Plantona		Nueva EDAR Peñarrubia	EDAR La Reguerona
	b	Ampliación EPAR La Plantona	Nueva EDAR Peñarrubia		EDAR La Reguerona
4	a	Ampliación EPAR La Plantona		Nueva EDAR Rinconín	EDAR La Reguerona
	b	Ampliación EPAR La Plantona	Nueva EDAR Rinconín		EDAR La Reguerona
5	a	Ampliación EPAR La Plantona		Nueva EDAR La Reguerona	EDAR La Reguerona
	b	Ampliación EPAR La Plantona	Nueva EDAR La Reguerona		EDAR La Reguerona

Tabla 1. Descripción general de alternativas



Figura 1. Instalaciones proyectadas para la Alternativa 1 y detalle de la línea de aguas

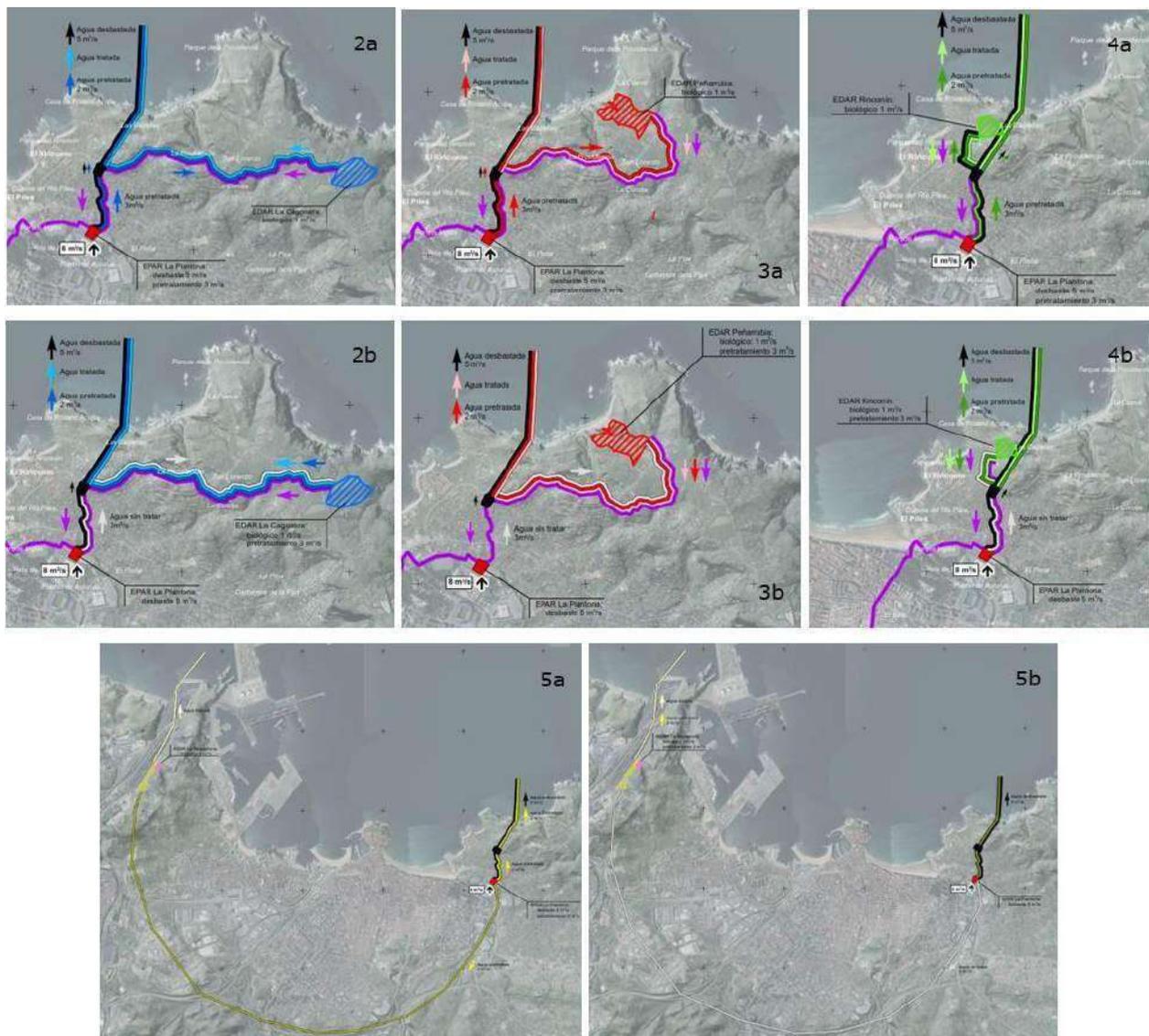


Figura 2. Instalaciones proyectadas para las Alternativas 2a, 2b, 3a, 3b, 4a, 4b, 5a y 5b

## Material y Métodos:

La metodología aplicada precisa de la aplicación secuencial de las siguientes fases:

- **Selección de objetivos:** El objetivo final de todo el proceso es la obtención de la mejor de las alternativas posibles, por lo que para su resolución es preciso definir de forma explícita el conjunto de objetivos perseguidos. En el Estudio desarrollado por TAXUS MEDIO AMBIENTE S.L. los objetivos marcados fueron:
  - OBJETIVO TERRITORIAL: Se pretendía seleccionar la alternativa más beneficiosa para el desarrollo territorial del área de implantación.
  - OBJETIVO TÉCNICO: Se pretendía seleccionar la alternativa más coherente y eficiente.
  - OBJETIVO AMBIENTAL: Se pretendía seleccionar la alternativa que menos impactos generase sobre el medio ambiente, tanto en fase de obra como en explotación.
  - OBJETIVO ECONÓMICO: Se pretendía seleccionar la alternativa más rentable desde el punto de vista económico.
- **Definición de criterios de evaluación de los objetivos:** En un segundo término se hace necesario definir unas variables que permitan evaluar la consecución de los objetivos seleccionados (Ver Tablas 2, 3, 4 y 5).
- **Definición de indicadores de evaluación numérica de los aspectos de cada criterio:** Posteriormente se definen las fórmulas específicas para cuantificar el cumplimiento de los objetivos seleccionados. (Ver Tablas 2, 3, 4 y 5).

OBJETIVOS TERRITORIALES			
CRITERIOS	INDICADORES		
Efecto sobre la ordenación territorial	$I_{Ord} = \frac{A_{Urb} \times a + A_{NU} \times b + A_{NU-P} \times c + A_{Ubl} \times d}{S_{m\acute{a}x}}$	AUrb = Superficie afectada por suelo urbano ANU = Superficie afectada por suelo no urbanizable ANU-P = Superficie afectada por suelo no urbanizable-POLA (Plan de Ordenación del Litoral asturiano) AUbl = Superficie afectada por suelo urbanizable	Ponderación a juicio de experto según importancia del tipo de suelo: a = 0.1 b = 0.5 c = 1 d = 0.2
	$I_{Parc} = a / S$	a = número de parcelas afectadas por alternativa S = superficie que ocupa la parcela evaluada	
Ocupación de terrenos en obra	$I_{Ocp} = a / S_{m\acute{a}x}$	a = Superficie afectada por alternativa S <sub>máx</sub> = Superficie que ocupa la alternativa más extensa	

OBJETIVOS TERRITORIALES	
CRITERIOS	INDICADORES
Valoración territorial	Se considera que la ocupación durante la fase de obra tiene un efecto más directo y ocasiona más molestias a la población que el cambio de usos del suelo y el índice de parcelación.
	Se asignan los siguientes porcentajes, a juicio de experto, según importancia del indicador: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Índice de ordenación del territorio (IOrd) : 40 %</li> <li>- Índice de parcelación (IParc): 10 %</li> <li>- Índice de ocupación de obra (IOcp): 50 %</li> </ul>

Tabla 2. Criterios e indicadores establecidos para los Objetivos Territoriales

OBJETIVOS TÉCNICOS	
CRITERIOS	INDICADORES
Eficiencia	$I_{Efi} = C / V$ C = Consumo de electricidad en MWh/año V = Volumen de agua tratada en un año en hectómetros cúbicos
Coherencia	$I_{Coh} = l / L_{m\acute{a}x}$ l = Longitud en metros de conducciones L <sub>máx</sub> = Longitud de la alternativa con la conducción más larga
Valoración técnica	Se considera que tanto la eficiencia como la coherencia tienen una importancia similar, por ello el reparto de porcentajes de importancia, a juicio de experto, es equitativo: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Índice de eficiencia (IEfi): 50 %</li> <li>- Índice de coherencia (ICoh): 50 %</li> </ul>

Tabla 3. Criterios e indicadores establecidos para los Objetivos Técnicos

OBJETIVOS AMBIENTALES	
CRITERIOS	INDICADORES
Huella de carbono	$I_{CC} = CO_2 / CO_2 \text{ máx}$ CO <sub>2</sub> = Emisión de toneladas de CO <sub>2</sub> equivalente CO <sub>2</sub> máx = Máxima emisión de toneladas de CO <sub>2</sub> equivalente de entre todas las alternativas
Afección a cauces	$I_{Hid} = \frac{A_{RP} \times a + A_{Af} \times b + A_{Ar} \times c + A_{Ch} \times d + A_{Ch-T} \times e}{S}$ ARP = Superficie afección a ríos principales A Af = Superficie afección a afluentes A Ar = Superficie afección a arroyos A Ch = Superficie afección a charcas A ChTI = Superficie afección a charcas temporales Ponderación a juicio de experto según importancia del cauce: a = 1 b = 0.75 c = 0.5 d = 0.8

OBJETIVOS AMBIENTALES			
CRITERIOS	INDICADORES		
		S = Superficie que ocupa la alternativa	e = 0.5
Paisaje	Cálculo de la Capacidad de Acogida: según método de Escribano et al, 1987 (2) Cálculo de la cuenca visual: mediante software GIS		
Afección a vegetación	$I_v = \frac{\sum A_{ij} \times x_j}{S_{m\acute{a}x}}$	A <sub>ij</sub> = Superficie afectada por la alternativa i para la formación j x <sub>j</sub> = Valor asignado al tipo de formación (ponderación) S <sub>máx</sub> = Superficie total de la alternativa más extensa	
		Ponderación a juicio de experto según importancia de la vegetación:	
		0	Pueblos y ciudades, Áreas de Servicios y equipamientos, Áreas industriales y explotaciones a cielo abierto
		0,1	Parcelas abandonadas, escombreras, taludes y otros espacios intersticiales
		0,2	Cultivos hortícolas, Plantaciones de eucalipto, Helechales silicícolas, Zarzal
		0,3	Parques y jardines, Prados
		0,6	Plantaciones de castaño, pino y frutales, Saucedas con salguera negra
		0,7	Acantilados centro-occidentales desmoronables con <i>Plantago marítima</i> y <i>Crithmum maritimum</i>
		0,8	Formaciones arbustivas eutrofas de laurel con aladierno
		1	Bosques ribereños, Bosques de sauce blanco
	$I_{HIC} = \frac{A_{HIC} * x a + A_{HIC} x b + A_{NC} * c}{S}$	A <sub>HIC</sub> * = Superficie afectada de Hábitat de Interés comunitario (HIC) prioritario A <sub>HIC</sub> = Superficie afectada de HIC A <sub>NC</sub> = Superficie afectada de hábitat no catalogado S = Superficie que ocupa la alternativa	Ponderación a juicio de experto según importancia del HIC: a = 1 b = 0.7 c = 0.1

OBJETIVOS AMBIENTALES			
CRITERIOS	INDICADORES		
Afección a fauna	$I_F = \frac{\sum C_{CEEA} + C_{CREA}}{P_{m\acute{a}x}}$	<p>CCEEA = Valor asignado para la categoría de la especie en el Catálogo Español de Especies Amenazadas (CEEA) (3)</p> <p>CCREA = Valor asignado para la categoría de la especie en el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales De Asturias (PORN) (4)</p> <p>Pmáx = Puntuación máxima obtenida para <math>\sum C_{CEEA} + C_{CREA}</math> de entre todas las alternativas</p>	
		Ponderación, a juicio de experto, según importancia de categoría de protección:	
		4	CEEA: En Peligro de Extinción
		3	CEEA: Vulnerable
		2	CEEA: Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial PORN: Especie Singular
0	No catalogada		
Afección a patrimonio cultural	$I_C = \frac{\sum L}{L_{m\acute{a}x}}$	<p>L = Longitud que afecta la alternativa a cada elemento del patrimonio cultural</p> <p>Lmáx = Longitud de la alternativa más larga</p>	
Generación de ruidos	$I_R = \frac{R_c}{R}$	<p>Rc = Número de receptores que cumplen la normativa para una alternativa dada</p> <p>R = Número de receptores de la alternativa</p>	
Generación de olores	$I_o = \frac{\sum I_c \times A_c + \sum (1 + \frac{I_{ii} - V_j}{V_i}) \times A_{li}}{\sum A_c + \sum A_{li}}$	<p>Ic = Valor de la isódora que cumple la normativa</p> <p>Aic = Área de la isódora que cumple la normativa</p> <p>li = Valor de la isódora que incumple la normativa</p> <p>Aic = Área de la isódora que incumple la normativa</p>	
Valoración ambiental	<p>A continuación se muestran los porcentajes asignados, a juicio de experto, a los distintos indicadores ambientales en función de la importancia del indicador:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Índice de cambio climático (Icc): 20 %</li> <li>- Índice de hidrología (Ihid): 3 %</li> <li>- Paisaje (Capacidad de Acogida 50% + Cuenca Visual 50%): 16 %</li> <li>- Índice de vegetación (Flora (Iv) 20% + HIC (IHIC) 80%): 11 %</li> <li>- Índice de fauna (IF): 3 %</li> <li>- Afecciones a bienes culturales (IC): 11 %</li> <li>- Índice de generación de ruidos (IR): 16 %</li> <li>- Índice de emisión de olores (IO): 20 %</li> </ul>		

Tabla 4. Criterios e indicadores establecidos para los Objetivos Ambientales

OBJETIVOS ECONÓMICOS		
CRITERIOS	INDICADORES	
Coste energético	$I\text{€} = (P \times C) / V$	P = Precio medio del MW/h en 2017 C = Consumo en MWh/año V = Volumen de agua tratada en un año en hectómetros cúbicos

Tabla 5. Criterios e indicadores establecidos para los Objetivos Económicos

- **Homogenización/Normalización de indicadores:** Una vez obtenidos los valores para todos los indicadores se procede a la transformación de estos a una misma escala (0-100).
- **Análisis multicriterio - aplicación del método PATTERN (5)(6)(7):** Finalmente se procede a determinar la regla de decisión a utilizar para, en función de la importancia relativa que se atribuya a cada objetivo, obtener la mejor alternativa.

El método PATTERN es el de utilización más frecuente en razón de su fiabilidad y su claridad. Al ser de agregación total tiene en cuenta tanto el peso o importancia que el decisor atribuye a los diferentes criterios como las valoraciones que el analista obtiene para cada solución. Para ello emplea el Índice de Pertinencia (IP), el cual puede ser definido como “la medida de la contribución de un elemento situado en un nivel inferior a la realización de un nodo superior”, calculándose como la suma de las valoraciones homogéneas de cada criterio afectadas por los pesos asignados:

$$IP = \sum C_j \times P_j$$

$C_j$  = Valoración homogeneizada para el criterio j.  
 $P_j$  = Peso Asignado al criterio/objetivo j

Precisa, por tanto, de la asignación de pesos específicos o coeficientes de ponderación a los criterios que intervienen en la evaluación, en función de la importancia relativa que tenga ese criterio para el decisor con relación a los demás. En el caso expuesto se han establecido los siguientes coeficientes de ponderación, a juicio de experto, en función de la importancia de cada objetivo:

- Objetivos Territoriales: x 0,3
- Objetivos Técnicos: x 0,3
- Objetivos Ambientales: x 0,3
- Objetivos Económicos: x 0,1

### Resultados:

La tabla siguiente resume los valores obtenidos por alternativa, para cada objetivo (tras su homogenización a escala 0-100); así como el Índice de Pertinencia (IP) obtenido tras la aplicación de la fórmula y la asignación de pesos descrita en el punto anterior.

Alternativa		Ambiental	Técnico	Territorial	Económico	IP
Alternativa 1 - La Plantona		13,24	16,15	28,42	17,61	<b>19,10</b>
Alternativa 2 Cagonera	a	9,74	7,30	8,15	5,62	<b>8,12</b>
	b	9,69	6,55	7,96	5,32	<b>7,79</b>
Alternativa 3 Peñarrubia	a	9,73	8,58	5,95	8,07	<b>8,08</b>
	b	9,98	7,79	5,82	7,70	<b>7,85</b>
Alternativa 4 Rinconín	a	11,93	13,87	13,73	14,93	<b>13,35</b>
	b	11,90	13,39	16,96	14,89	<b>14,17</b>
Alternativa 5 La Reguerona	a	12,01	12,77	7,52	13,25	<b>11,01</b>
	b	11,80	13,59	5,49	12,60	<b>10,52</b>

Tabla 6. Resultados del Índice de Pertinencia (IP) obtenidos mediante el método PATTERN

Los resultados permiten concluir que:

- Para todos los objetivos considerados de forma independiente la Alternativa 1 se postula como mejor opción por presentar un valor más elevado.
- El Índice de Pertinencia (que considera todos los objetivos de forma conjunta) también permite concluir que **la Alternativa 1 es la mejor opción.**
- La Alternativa 1 presenta una mejora porcentual del 25,81 % respecto a la Alternativa 4b que se encuentra en segundo lugar y una mejora porcentual de 30,10 % respecto a la Alternativa 4a.

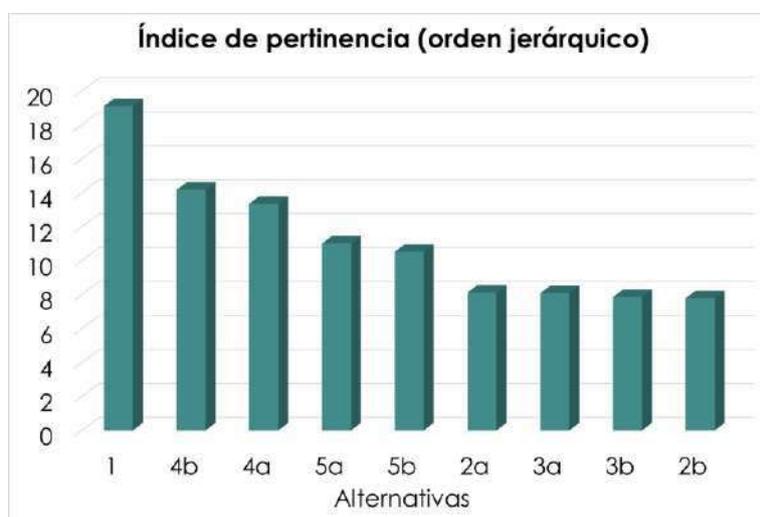


Figura 3. Valores de la matriz de resultados del Índice de Pertinencia obtenidos por el Método PATTERN ordenados de mayor a menor: de mejor a peor alternativa.

## Discusión y Conclusiones:

La aplicación del método PATTERN al análisis cuantitativo multicriterio de las Alternativas de ubicación de la EDAR Este de Gijón ha permitido concluir que **la Alternativa 1 se postula como la mejor opción, desde el punto de vista territorial, técnico, ambiental y económico.**

Esta alternativa implica las siguientes actuaciones:

- **LÍNEA DE AGUAS:** Ampliación de la EPAR La Plantona actual y construcción de nueva EDAR en sus inmediaciones.
- **LÍNEA DE FANGOS:** Adecuación de la EDAR La Reguerona (actualmente existente).

Finalmente, con objeto de conseguir mayor seguridad en el orden de preferencia obtenido del análisis multicriterio, se aplicó un análisis de sensibilidad y otro de robustez:

- **Análisis de sensibilidad:** Se basa en variar los pesos asignados a los distintos objetivos estableciendo unos límites de variación. Se ha establecido una variación de dos décimas respecto al valor original con saltos de una décima. Es decir, el objetivo ambiental con valor original = 0,3, puede tomar los valores 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 y 0,5. De todas las combinaciones posibles sólo se han evaluado aquellas cuya suma de valores fuese igual a 1, obteniendo un total de 70. De esas 70 combinaciones **en el 100% de los casos se obtiene la Alternativa 1 como mejor opción.**
- **Análisis de robustez:** Consiste en analizar el comportamiento de la puntuación final obtenida por cada alternativa al aplicarle el método PATTERN cuando los pesos asignados a cada objetivo pueden variar dentro de todo el rango de validez (entre 0 y 1), siempre que su suma siga valiendo 1. Se obtuvieron un total de 286 combinaciones de las que **en el 100% de las veces es seleccionada la Alternativa 1 como mejor opción**

La metodología presentada permite dar cumplimiento a los requisitos establecidos por la Ley 21/2013 en relación al empleo de métodos cuantitativos de valoración de impactos, permitiendo asignar un valor numérico a cada alternativa valorada, de forma que se pueda seleccionar como mejor opción aquella que presente un valor más elevado.

En todo caso, todo el procedimiento deberá adecuarse al proyecto y ámbito específicamente analizado; siendo además necesario que este sea desarrollado por un equipo multidisciplinar con conocimientos y experiencia adecuados en el ámbito de la evaluación de impactos y en la aplicación de métodos y análisis estadísticos.

## Referencias / Bibliografía:

- (1) Resolución de 15 de noviembre de 2019, de la Dirección General de Biodiversidad y Calidad Ambiental, por la que se formula **declaración de impacto ambiental** del proyecto "Estación depuradora de aguas residuales de Gijón Este y del Proyecto y ejecución de las obras de la EDAR Este de Gijón (Asturias). Modificado n.º 1" (BOE nº 290 de 03/12/2019)
- (2) Escribano, M. 1987. El Paisaje. Madrid, *Serie Unidades Temáticas Ambientales*. MOPU
- (3) Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazada
- (4) Decreto 38/1994, de 19 de mayo, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los recursos naturales del Principado de Asturias

- (5) J. V. Sigford and R. H. Parvin. 1965. Project pattern: A methodology for determining relevance in complex decision-making, in *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. EM-12, no. 1, pp. 9-13, doi: 10.1109/TEM.1965.6446433
- (6) Jestice, A.L. 1964. Project PATTERN – Planning Assistance Through Technical Evaluation of Relevance Numbers. Paper presented to *Operations Resercha Society of America*, Oct. 7-8-9. Pamphlet Minn. – Honeywell, Inc.
- (7) Chica, C.A. 2006. Propuesta de un Modelo Matemático Multicriterio, para que la toma de decisiones en fondos de empleados y cooperativas de trabajo asociado de Manizales coadyuve a la cooperatividad. Maestría en Administración. Universidad Nacional de Colombia

## **EVALUACIÓN, MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y RECOMENDACIONES PARA MINIMIZAR EL POTENCIAL IMPACTO OCASIONADO POR EL TRÁFICO MARÍTIMO SOBRE LAS POBLACIONES DE CETÁCEOS MARINOS EN LA COSTA OCCIDENTAL DE LA INDIA.**

Villazán Peñalosa, B.<sup>1</sup>; Rodríguez García, J.<sup>1</sup>; Ponte Mosquera, C.<sup>2</sup>; Granero Castro, J.<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>TAXUS MEDIO AMBIENTE, [bvillazan@taxusmedioambiente.com](mailto:bvillazan@taxusmedioambiente.com), Oviedo, Asturias

<sup>2</sup>ALVUS ESG CONSULTING SL, Dubai, UAE

**Palabras clave:** Cetáceos; India; IMMA; ICMBA; Riesgo por colisión; Tráfico marítimo.

### **Resumen:**

Los mamíferos desempeñan un papel fundamental en la mayoría de los ecosistemas marinos. Sin embargo, sus poblaciones se encuentran amenazadas a nivel mundial por diferentes presiones antropogénicas.

Entre los principales impactos descritos, se encuentran aquellas actividades derivadas del tráfico marítimo, entre las que destaca la mortalidad ocasionada por colisión con grandes embarcaciones de media y alta velocidad, convirtiéndose en un problema de conservación a nivel global.

En este contexto, el objetivo del presente estudio fue identificar y analizar las zonas sensibles y especies asociadas, que podrían verse afectadas por rutas de tráfico marítimo entre los cuatro puertos principales de la costa occidental de la India, con el fin de sugerir una serie de recomendaciones para minimizar el posible riesgo por colisión de las poblaciones de cetáceos.

### **Introducción:**

Actualmente, las poblaciones de mamíferos marinos se encuentran amenazadas como consecuencia de diferentes presiones antropogénicas (1).

Uno de los principales impactos y causas del declive de estas poblaciones a nivel mundial, son el riesgo de colisión con buques y las perturbaciones ocasionadas por el ruido submarino asociadas a las actividades derivadas del tráfico marítimo (2,3).

En este sentido, el objetivo del presente trabajo es identificar las áreas vulnerables y especies asociadas que podrían ser afectadas por las diferentes rutas marítimas que conectan cuatro puertos de la costa occidental de la India (Pipavav, Hazira, New Manglore y Kochi), con el fin de proponer una serie de recomendaciones para minimizar el potencial riesgo por colisión con las poblaciones de mamíferos marinos.

### **Material y Métodos:**

Para disminuir el impacto del tráfico marítimo sobre las poblaciones de mamíferos marinos, se analizó qué zonas sensibles se ven afectadas por las diferentes rutas (Apinya A, Apinya B, Danya, Boonya y Chanya), que transitan entre los principales cuatro puertos de la costa occidental de la India (Pipavav, Hazira, New Manglore y Kochi) (Figura 1).



Figura 1: Localización geográfica de los puertos: Pipavav, Hazira, Nee Manglore y Koch.

Para ello, se identificaron las Áreas Importantes para los Mamíferos Marinos (IMMA), elaboradas por el Grupo de Trabajo de Áreas Protegidas para los Mamíferos Marinos (MMPATF). Así como, las Áreas Importantes Costeras y Marinas (ICMBA), descritas por el Instituto de Vida Silvestre de la India.

Posteriormente, con ayuda de sistemas de información geográfica, se identificaron las áreas coincidentes espacialmente entre dichos espacios y las rutas marítimas a estudio (Figura 2), detectando así las especies potencialmente afectadas.



Figura 2: Trazado de las diferentes rutas de tráfico marítimo (Apinya A, Apinya B, Danya, Boonya y Chanya) desde los puertos: Pipavav, Hazira, Nee Manglore y Koch.

## Resultados:

El Instituto de Vida Silvestre de la India ha identificado un total de 106 lugares costeros y marinos como Áreas Costeras y Marinas Importantes (ICMBA), de las cuales 62 se localizan a lo largo de la costa occidental de la India (4).

Tras el análisis de las diferentes rutas, se detectaron un total de 34 ICMBA que podrían verse potencialmente afectadas por el tráfico marítimo entre los puertos de Pipavav, Hazira, Nee Manglore y Koch. (Figura 3, tabla 1), descartándose aquellas zonas localizadas en estuarios.

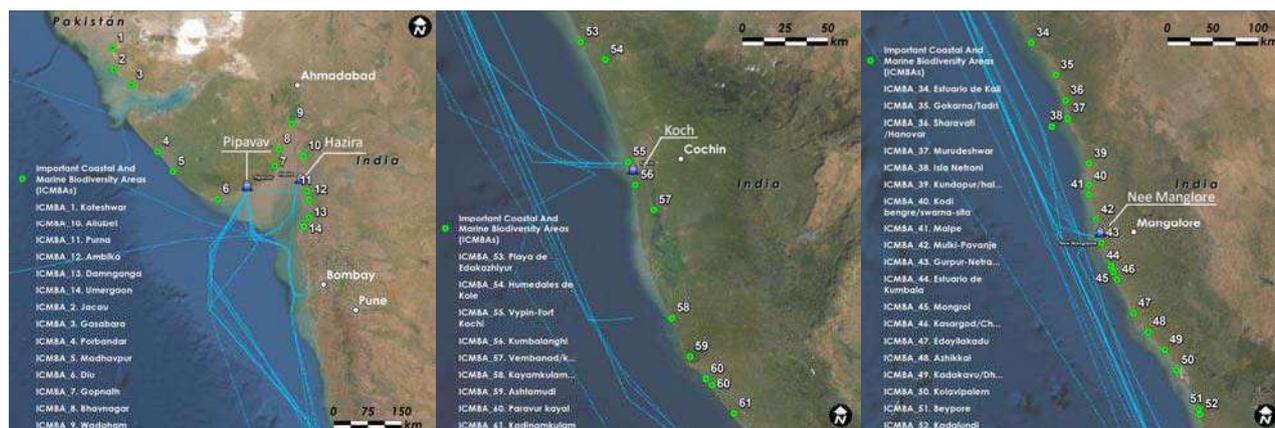


Figura 3: ICMBA potencialmente afectas por las rutas de tráfico marítimo analizadas.

Estado	Distrito	ICMBA	Área (Km <sup>2</sup> )
Gujarat	Porbandar	4. Porbandar	261
	Porbandar	5. Madhavpur	19.6
	Diu-Daman	6. Diu	179
	Surat	11. Purna	147
	Valsad	12. Ambika	105
	Valsad	13. Damnganga	9
	Valsad	14. Umergaon	22.5
Karnataka	Uttara Kannada	34. Kali estuary	25.3
	Uttara Kannada	35. Gokarna/Tadri	46
	Uttara Kannada	36. Sharavati /Hanovar	13.6
	Uttara Kannada	37. Murudeshwar	30
	Udupi	38. Netrani island	5
	Udupi	39. Kundapur/haladi	16.7
	Udupi	40. Kodi bengre/swarna-sita	15
	Dakshin Kannada	42. Mulki-Pavanje	3.5
	Dakshin Kannada	43. Gurpur-Netravati	13.8
Kerala	Kasargod	44. Kumbala estuary	4.7
	Kasargod	45. Mongrol	4.5
	Kasargod	46. Kasargod/Chandragiri	8
	Kasargod	47. Edayilakadu	38
	Kannur	48. Azhikkal	25
	Kannur	49. Kadakavu/Dharmadom	9.5
	Kozhikode	50. Kolavipalem	4.5

Estado	Distrito	ICMBA	Área (Km <sup>2</sup> )
	Kozhikode	51. Bepore	8
	Malapuram	52. Kadalundi	4
	Thrissur	53. Edakazhiyur beach	3.2
	Thrissur	54. Kole wetlands	175
	Ernakulam	55. Vypin-Fort Kochi	110
	Alapuzha	56. Kumbalanghi	59.5
	Alapuzha	58. Kayamkulam/ayiram	21
	Kollam	59. Ashtamudi	75
	Tiruvandapuram	60. Paravur kayal	12
	Tiruvandapuram	61. Kadinamkulam	9.5

Tabla 1. ICMBA potencialmente afectas

Por otro lado, se identificaron un total de 6 IMMA sobre las cuales las rutas estudiadas podrían ocasionar impactos sobre las especies asociadas. Así, las rutas Apinya B y Chanya, atraviesan las IMMA denominadas como: Oman Arabian Sea, Southern Gulf and Coastal Waters y South West to Eastern Sri Lanka. Mientras que, las rutas Apinya Route A y Apinya Route B, transitan a menos de 10 km de las IMMA: Sindhudurg-Karwar y Gulf of Kutch.

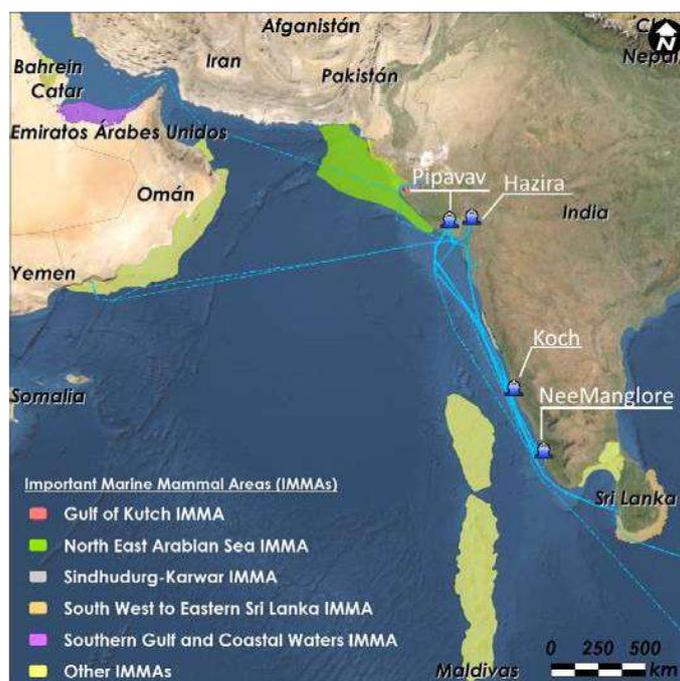


Figura 4: IMMA potencialmente afectas por las rutas de tráfico marítimo analizadas.

La siguiente tabla muestra aquellas especies presentes en las diferentes IMMA que podrían ser susceptibles de sufrir los impactos derivados del tránsito marítimo en la zona. Dichas áreas, bien son atravesadas o distan a menos de 5 Km de las rutas analizadas.

Las especies que podrían ser potencialmente afectadas por las rutas de tráfico marítimo estudiadas y que destacan por su nivel de protección según los criterios de la IUCN, son:

- Vulnerable (VU): *Dugong dugon* (dugongo o dugón), *Neophocaena phocaenoides* (marsopa negra) y *Physeter macrocephalus* (cachalote), catalogadas como Vulnerables.

- En peligro de extinción (EN): *Balaenoptera musculus* (ballena azul) y *Sousa plumbea* (delfín jorobado del indopacífico).

Nombre científico	Nombre común	IUCN	Ruta	IMMA	Distancia
<i>Balaenoptera musculus</i>	Ballena azul	EN	Apinya Route B	Oman Arabian Sea	Cruza
			Apinya Route A	Sindhudurg-Karwar	5,46
<i>Dugong dugon</i>	Dugongo	VU	Apinya Route B	Oman Arabian Sea	Cruza
			Apinya Route B	Gulf of Kutch	2,33
<i>Neophocaena phocaenoides</i>	Marsopa negra	VU	Apinya Route B	Southern Gulf and Coastal Waters	Cruza
			Apinya Route B	Gulf of Kutch	2,33
			Apinya Route A	Sindhudurg-Karwar	5,46
<i>Physeter macrocephalus</i>	Cachalote	VU	Apinya Route B	Oman Arabian Sea	Cruza
			Chanya	South West to Eastern Sri Lanka	Cruza
<i>Sousa plumbea</i>	Delfín giboso índico	EN	Apinya Route B	Southern Gulf and Coastal Waters	Cruza
			Apinya Route B	Oman Arabian Sea	Cruza
			Apinya Route B	Gulf of Kutch	2,33
			Apinya Route A	Sindhudurg-Karwar	5,46

Tabla 2: IMMA atravesadas o a menos de 5 Km por las rutas analizadas y especies potencialmente afectadas.

### Discusión y Conclusiones:

En la actualidad existe una gran variedad de medidas de mitigación que pretenden reducir el riesgo de colisiones entre buques y las poblaciones de mamíferos marinos, la mayoría de las cuales se desarrollaron centrándose en las poblaciones de ballenas.

Las medidas de mitigación más adecuadas para minimizar con éxito las colisiones con mamíferos marinos en la zona a estudio, fue la modificación de las rutas, evitando así que éstas atraviesen aquellas áreas consideradas de alto riesgo y la reducción de la velocidad de los buques, en caso de que las rutas no puedan ser desviadas (5).

A continuación, se exponen las diferentes recomendaciones realizadas para disminuir el potencial impacto del riesgo por colisión con las poblaciones de mamíferos marinos:

- Redireccionamiento de las rutas marítimas

Pequeños cambios de las rutas en zonas de alto riesgo podrían conducir a una reducción sustancial de las colisiones, siendo posiblemente la mejor medida para reducir dicho impacto y disminuyendo el riesgo de colisión entre un 60-95% (6, 7).

Este enfoque ya se ha introducido con éxito para la protección de las ballenas a lo largo de la costa este de los Estados Unidos, así como en la costa de Canadá y en la bahía de Massachusetts.

En el caso a estudio, dicha recomendación se propuso para las rutas Apinya Route A, Apinya Route B y Chanya, las cuales cruzan las IMMA: Oman Arabian Sea, Southern Gulf and Coastal Waters y South West to Eastern Sri Lanka, Sindhudurg-Karwar y Gulf of Kutch.

- Restricciones de velocidad

La reducción de la velocidad de los buques podría disminuir el riesgo de colisión, en aquellas zonas en donde los buques no pueden modificar su trayectoria.

Así, varios estudios (8, 9, 10) muestran cómo la probabilidad de lesiones letales en grandes ballenas disminuye hasta casi un 50% con una disminución de la velocidad entre 10 y 13 nudos.

A pesar de que la velocidad máxima estimada de los buques a estudio es de 13 nudos, se recomendó que se cumpliera con las restricciones de velocidad en aquellos casos en el que las rutas de tráfico marítimo no pudieran cambiar su trayectoria, evitando su tránsito por las IMMA anteriormente mencionadas, como en aquellas rutas que distan menos de 5 Km de las zonas consideradas como de alto riesgo.

En base a la velocidad de los buques analizados en el presente estudio, la cual esta

- Sistema tecnológico de datos e información

En general, estos sistemas son útiles durante la navegación para identificar y alertar a la tripulación que van a atravesar o están cercanos a zonas con una alta densidad de animales propensos a las colisiones (7). Además, el uso de esta tecnología puede contribuir a la recogida de datos sobre las especies amenazadas.

Un ejemplo de estos sistemas de información es el de Trazado en Tiempo Real de Cetáceos (RECEPT), desarrollado para reducir las colisiones de los barcos con las ballenas en el Santuario de Pelagos (Mar Mediterráneo). Además, también existen diferentes sistemas de alerta por teléfono móvil como la app "Whale alert" y la "Manatee Alert".

- Educación y concienciación

Las colisiones con animales pueden evitarse si se detectan a tiempo y la tripulación de la embarcación adopta las medidas adecuadas para evitarlas. Por lo general, dicha tripulación no suele estar capacitada para detectar e identificar las diferentes especies de mamíferos marinos ni para actuar de la forma adecuada, en caso de que se produzca una colisión con dichos animales.

En este contexto, varias organizaciones han llevado a cabo un esfuerzo global e iniciativas de divulgación pública a nivel mundial como son la Organización Marítima Internacional, la Comisión Ballenera Internacional, la Red de Conservación de la Investigación de Mamíferos Marinos de la India o la Red de Ballenas del Mar de Arabia (5, 11).

### Referencias / Bibliografía:

1. Pennino MG, Pérez Roda MA, Pierce GJ, Rotta A, 2016, *Effects of vessel traffic on relative abundance and behaviour of cetaceans: the case of the bottlenose dolphins in the Archipelago de La Maddalena, north-western Mediterranean Sea*. *Hydrobiologia*. 776: 237–248.
2. WWF, IUCN, IWC and Ocean Mind, 2020, *A Geospatial Analysis of traffic in important marine mammal areas. Using the automatic identification system to monitor the important marine mammal areas* (01sep2018 - 01sep2019). 409 pp.

3. Abdulla A, Linden O, 2008, *Maritime traffic effects on biodiversity in the Mediterranean Sea: review of impacts, priority areas and mitigation measures*. IUCN Centre for Mediterranean Cooperation, Malaga, Spain. 184 pp.
4. Sivakumar K, Mathur VB, Pande A, 2013, *Coastal and Marine Protected Areas in India: Challenges and Way Forward*, ENVIS Bulletin: Wildlife & Protected Areas. Vol. 15 Wildlife Institute of India, Dehradun-248001, India. 368 pp.
5. International Maritime Organization, 2019, *Guidance document for minimizing the risk of ship strikes with cetaceans*. 7 pp.
6. Cates K, Demaster RL, Silber G, Gende S, Leaper R, Ritetr F, Panigada S, 2017, *Strategic Plan to mitigate the impacts of ship strikes on cetacean population*. International Whaling Commission. 17 pp.
7. Schoeman RP, Patterson-Abrolat C, Plön S, 2020, A global review of vessel collisions with marine animals. *Frontiers in Marine Science*. 7: 1-25.
8. Laist DW, Shaw C, 2006, *Preliminary evidence that boat speed restrictions reduce deaths of Florida manatees*. *Marine Mammal Science*. 22: 472–479.
9. Vanderlaan ASM, Taggart CT, 2009, *Efficacy of a voluntary area to be avoided to reduce risk of lethal vessel strikes to endangered whales*. *Conservation Biology*. 23: 1467–1474.
10. Conn PB, Silber GK, 2013, *Vessel speed restrictions reduce risk of collision-related mortality for North Atlantic right whales*. *Ecosphere* 4:1-16.
11. International Whaling Commission, 2014, Implementation of workshop to address collisions between marine mammals and ships with a focus on the wider Caribbean. Report IWC/65/CCrep01 discussed at the 14<sup>th</sup>. Meeting of the Western Gray Whale Advisory Panel. Cambridge, UK.

**BLOQUE 3**  
**Vigilancia Ambiental**

## MONITOREO DE LA CALIDAD DEL SUELO EN UNA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA, MEDIANTE APLICACIÓN DE ÍNDICES MULTIPARÁMETRICOS VIGILANCIA AMBIENTAL: LA CLAVE DEL ÉXITO

Andrés Abellán, M.<sup>1</sup>; Picazo Córdoba, M.I.<sup>1</sup>; García Saucedo, F.<sup>1</sup>; García Morote, F.A.<sup>1</sup>; Rubio Caballero, E.M.<sup>2</sup>; Wic Baena, C.<sup>3</sup>; López Serrano, F.R.<sup>4</sup>

1. ETSIAM- Universidad de Castilla-La Mancha, [Manuela.Andres@uclm.es](mailto:Manuela.Andres@uclm.es), Albacete, España
2. ETSII- Universidad de Castilla-La Mancha, Albacete, España
3. Funcionaria de la JCCLM, Albacete, España
4. ETSIAM-Universidad de Castilla-La Mancha, Albacete, España

**Palabras clave:** Vigilancia ambiental; Plantas fotovoltaicas; Índices de calidad de suelo.

### Resumen:

El seguimiento de indicadores ambientales es fundamental para evaluar la integración de proyectos en el territorio, siendo la calidad del suelo un buen indicador en plantas solares fotovoltaicas. Un método preciso para cuantificar la calidad del suelo consiste en establecer índices multiparamétricos. En este trabajo se elabora un índice para estudiar la evolución del suelo en una planta fotovoltaica, transcurridos más de cinco años de funcionamiento. Se analizan parámetros edáficos fisicoquímicos y biológicos en zonas interiores y exteriores de la planta, para realizar un seguimiento espaciotemporal. El índice de calidad obtenido varía significativamente en el tiempo y entre zonas, y establece rangos de calidad, proponiéndose como un indicador adecuado para monitorear periódicamente impactos significativos en suelo de plantas fotovoltaicas, aplicable a la vigilancia ambiental de este tipo de proyectos.

### Introducción:

Los parámetros fisicoquímicos y biológicos analizados en el suelo interactúan entre sí para mantener el equilibrio y funcionalidad de este (Dick and Tabatabai, 1993) (1), (Ros *et al.*, 2003) (2), (Andrés *et al.*, 2011) (3). Para determinar cuáles de estas propiedades son buenos indicadores del impacto, sensibles a las perturbaciones ambientales, se pretende definir un conjunto mínimo de parámetros (físicos, químicos y biológicos) que, interrelacionados, proporcione datos numéricos sobre la capacidad de un suelo para llevar a cabo sus funciones (Bastida *et al.*, 2008) (4), esto es un índice multiparamétrico de calidad del suelo.

La instalación de una planta solar fotovoltaica puede modificar las condiciones iniciales de uso agrícola y forestal en una zona, pero el suelo como sistema vivo y dinámico que es, puede recuperarse adaptándose a las nuevas condiciones, manteniendo el equilibrio entre las diferentes fracciones que lo integran, la materia orgánica, la materia mineral y especialmente entre los organismos vivos, cuya densidad y diversidad son susceptibles de variar dependiendo de la cubierta vegetal, de la especie, vegetal, de su manejo y de las condiciones ambientales (Adeboye *et al.*, 2006) (5), (Wic *et al.*, 2013) (6), (Andrés *et al.*, 2015) (7).

Para ello se han analizado las propiedades edáficas, anteriormente mencionadas, en el área interior de la PSF y en la zona exterior control, para comprobar los efectos de la instalación sobre el suelo.

El objetivo de este estudio ha sido calibrar un índice de calidad de suelo, multiparamétrico (Andrés *et al.*, 2019) (8), aplicable a plantas solares fotovoltaicas  $SQI_{PFS}$ , que permita determinar y controlar la evolución de los efectos derivados de la instalación de dichas infraestructuras, a lo largo de un periodo de tiempo, coincidiendo con el proceso de vigilancia ambiental.

### **Material y Métodos:**

La medición de los parámetros se realiza en seis unidades principales de muestreo de 250 x 250m situadas en una planta solar fotovoltaica de 20MW al oeste de la Provincia de Albacete (Castilla-La Mancha). Tres unidades se fijan dentro de la planta solar fotovoltaica (PDF) y tres fuera, en los alrededores de la instalación. A su vez, se han contemplado diferentes escenarios según el tipo de cubierta y uso de suelo, tanto dentro de la instalación como fuera. Dentro de la instalación (D) se han diferenciado tres localizaciones o estaciones de muestreo: bajo seguidor solar (DBS), entre paneles solares con cubierta de herbáceas (DH) y entre paneles solares con cubierta leñosa (DL). Fuera de la instalación (F), considerada como zona control, tres tipos de cubiertas: agrícola herbáceo (FAH), agrícola leñoso (FAL) y forestal (FF).

En cada estación de muestreo se toman 2 muestras de suelo de 500 gr de los 15 cm superiores (M1 y M2), que se componen cada una de ellas de 6 submuestras aleatorias mezcladas. Los muestreos se han realizado en dos periodos, en 2013 y en 2021, transcurridos más de 5 años de funcionamiento de la planta. El total de datos analizados es 96 [(18 muestras dentro + 6 muestras fuera) x 2 periodos x 2 réplicas de laboratorio].

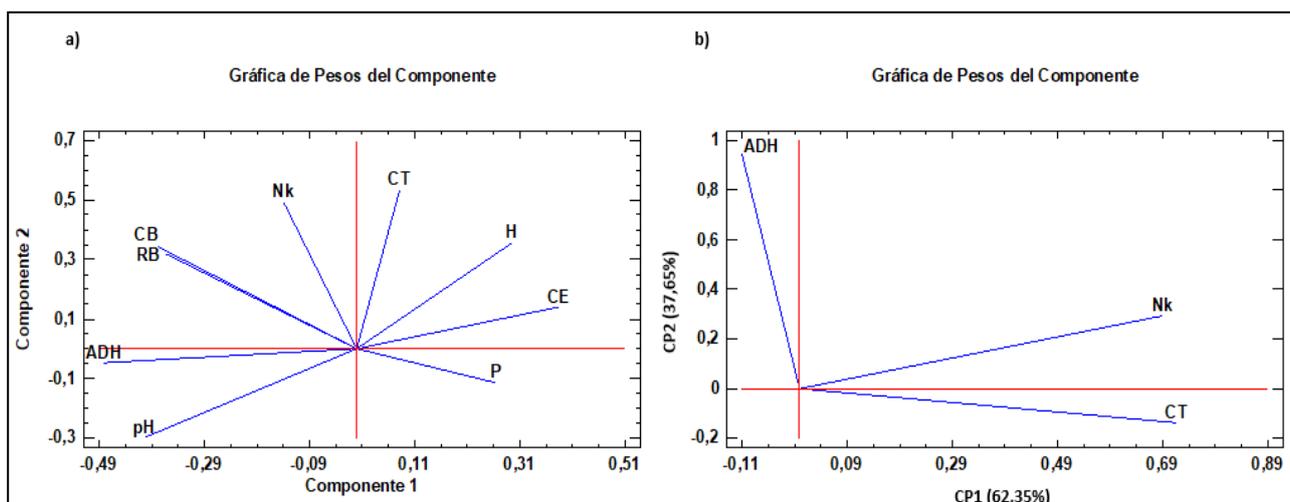
Los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y enzimáticos de suelo analizados han sido: humedad gravimétrica (H), pH, conductividad eléctrica (CE), carbono orgánico total (CT) (Walkley-Black, 1934) (9), nitrógeno (Nk) (método kjeldahl, modificado por Bremmer) (10), fósforo (P) (método Olsen, 1954) (11), respiración basal (RB) (método de incubación estática, Anderson, 1982) (12); carbono de la biomasa microbiana (CB) (método adaptado de Vance *et al.*, 1987) (13) y actividad enzimática deshidrogenasa (ADH) (método Trevor, modificado por García *et al.*, 1993) (14).

Se ha definido el índice de calidad del suelo (SQI) siguiendo un procedimiento de selección y normalización similar al utilizado por Andrés *et al.*, 2019 (8), consistente en: (i) Seleccionar los parámetros representativos, mediante análisis de componentes principales (ACP); (ii) Transformar, normalizando los datos por medio de las funciones de estandarización correspondientes a cada parámetro, según su contribución en la calidad medioambiental. (iii) Ponderar los valores y combinarlos en un índice, teniendo en cuenta el valor de cada componente y el peso de los parámetros seleccionados. Así se obtiene una función matemática, combinación de los parámetros seleccionados como índice multiparamétrico de calidad del suelo en plantas solares fotovoltaicas,  $SQI_{PFS}$ .

Se han realizado análisis estadísticos (modelos lineales generales, MLG) relacionando el SQIPFS calculado con factores predictivos como la posición de las parcelas (dentro o fuera de la PSF), el tipo de cubierta, evolución en el tiempo e interacción entre cubierta y evolución. Se ha aplicado el método de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD) (intervalo de confianza del 95%), y con  $P < 0,05$ . Por último, se realiza una conglomeración de las observaciones por el método Ward a una distancia euclidiana cuadrada. Todos los análisis estadísticos fueron realizados usando el software Statgraphics Centurión XVI.

## Resultados:

El primer análisis de componentes principales (1ACP) realizado sobre los nueve parámetros de suelo analizados muestra que dos componentes principales, con un valor propio  $\geq 1$ , explican el 73,34% de la varianza de todos los datos, siendo ADH en la primera componente (1CP1) y CT y Nk de la segunda componente (1CP2) las únicas variables con un peso mayor del 90%. Se realiza un segundo análisis de componentes principales (2ACP), con estas tres variables seleccionadas, obteniendo otras dos componentes principales (2CP1, 2CP2) con un valor propio  $\geq 1$ , que explican el 95,58% de la varianza de los datos (Gráfica 1, Tabla 1).



Gráfica 1. (a) Análisis de componentes principales (ACP) realizado utilizando las nueve variables analizadas.

(b) Vectores propios para cada una de las tres variables trazadas en el plano de los ejes CP1 y CP2. CT, carbono orgánico total; H, humedad gravimétrica; CE, conductividad eléctrica; P, fósforo; pH, pH; ADH, actividad deshidrogenasa; RB, respiración basal; CB, Carbono de biomasa; Nk, nitrógeno.

ACP	1ACP		2ACP	
	1CP1	1CP2	2CP1	2CP2
Valor propio	3,48	3,12	1,79	1,08
EV	38,72	34,62	59,60	35,98
CEV			62,35	37,65
<b>Variables<sup>a</sup></b>				
CE	0,384	0,141		
H	0,295	0,357		

<b>ADH</b>	<b>-0,481</b>	-0,046	0,110	<b>0,946</b>
RB	-0,365	0,321		
CB	-0,378	0,341		
pH	-0,404	-0,298		
<b>CT</b>	0,081	<b>0,533</b>	<b>0,716</b>	-0,137
<b>Nk</b>	-0,140	<b>0,495</b>	<b>0,689</b>	0,294
P	0,265	-0,113		

<sup>a</sup> Los valores en negrita se corresponden con pesos considerados altos. CE, conductividad eléctrica; H, humedad gravimétrica; ADH, actividad deshidrogenasa; RB, respiración basal; CB, carbono de biomasa; pH, pH; CT, carbono orgánico total; Nk, nitrógeno y P, fósforo.

Tabla 1. Resultados de los análisis de componentes principales (ACP): 1ACP, realizado con las nueve variables analizadas; 2ACP, realizado con las tres variables seleccionadas. Varianza porcentual explicada (EV), varianza explicada corregida (CEV).

Las variables seleccionadas como indicadores para formar parte del índice de calidad del suelo (SQI) son: ADH, CT y Nk, que serán normalizadas (Tabla 2).

INDICADOR*	**Max	σ	‡	min	m	Ecuación de normalización	r
<b>Nk (%)</b>	0,43	0,09	0,18	0,08	1,6	$Y = 1/0,18 \cdot (X - 0,08) / 0,08 \cdot 1,6$	0,99
<b>CT (%)</b>	6,07	1,22	2,45	1,05	1,7	$Y = 1/2,45 \cdot (X - 1,05) / 1,05 \cdot 1,7$	0,99
<b>ADH (μmolINT/gh)</b>	0,08	0,02	0,04	0,01	1,5	$Y = 1/0,04 \cdot (X - 0,01) / 0,01 \cdot 1,5$	0,99

\* Nk: Nitrógeno total; CT: Carbono Total, ADH: actividad deshidrogenasa.

\*\*Max, valor máximo; σ, desviación estándar; ‡, valor medio; min, valor menor; m, pendiente de la ecuación.

Tabla 2. Ecuaciones de normalización para cada indicador, junto con el coeficiente de correlación r de ajuste.

La función polinómica obtenida como índice multiparamétrico de calidad para planta solar fotovoltaica, SQIPFS, es la siguiente (Ecuación 1):

$$SQIPFS = 0,62 \cdot 0,72 \cdot CT + 0,69 \cdot Nk + 0,38 \cdot 0,95 \cdot ADH$$

Ecuación 1. CT nor, Nk nor y ADH nor, son los valores normalizados de carbono total, nitrógeno y actividad deshidrogenasa.

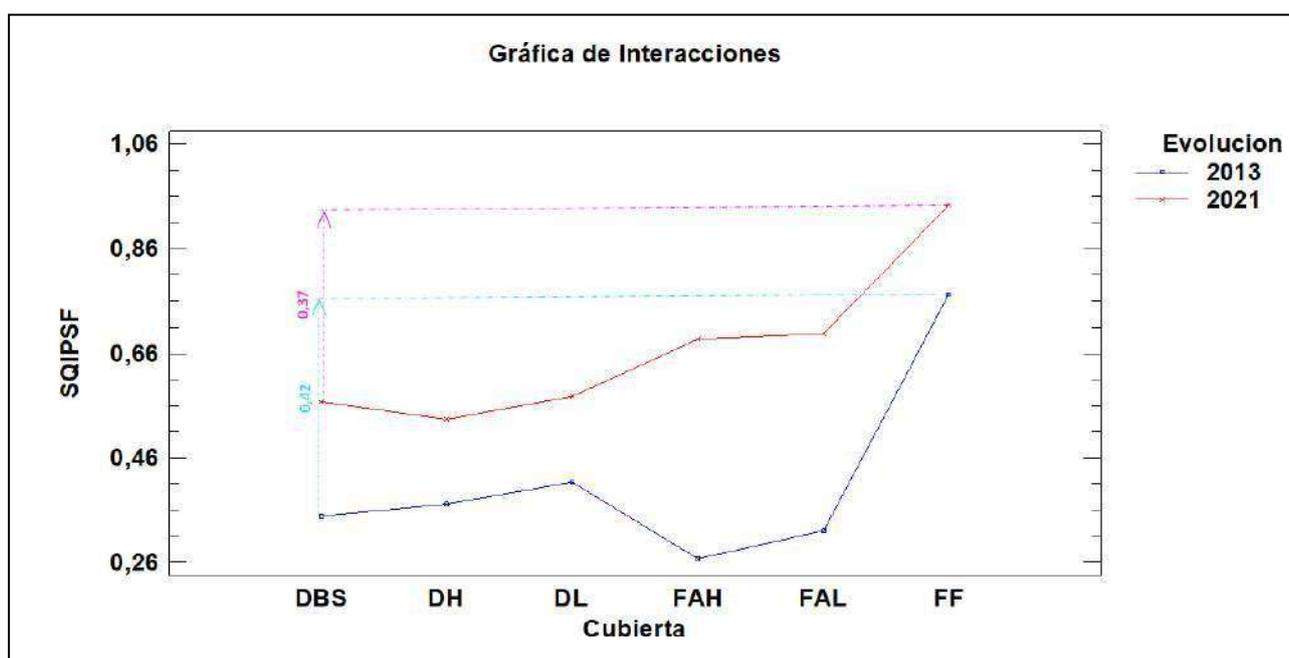
Se aplica un anova factorial (MLG) a los resultados obtenidos del SQIPFS para analizar la posible influencia sobre la calidad del suelo de los factores tipo de cubierta, C (DBS, DH, DL, FF, FAH, y FAL), evolución temporal, E (2013 y 2021) e interacción entre ambos, C\*E. Los resultados se muestran en la Tabla 4, en la que se observa un efecto estadísticamente significativo entre SQIPFS y las variables predictoras C y E (P<0,001) con un nivel de confianza mayor del 99,0%).

Factores	C		E		C * E		Modelo		
	F	P	F	P	F	P	F	R <sup>2</sup> (%)	e. s
<b>SQIPFS</b>	<b>9,64</b>	<b>***</b>	<b>45,11</b>	<b>***</b>	<b>1,60</b>	<b>ns</b>	<b>9,18</b>	<b>60,83</b>	<b>0,14</b>

Nivel de significación de los factores (C, cubierta; E, evolución; C\*E, interacción) que afectan a la variable SQIPFS y nivel de ajuste del modelo (F: F-Snedecor, R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación, e.s: error estándar de la estimación; todos los modelos son significativos, P<0,05 (\*); P<0,01 (\*\*); P<0,001 (\*\*\*) ; ns, no significativo; n=96).

Tabla 3. Modelo lineal general. Resultados del ANOVA factorial, sobre la variable de muestras estudiadas.

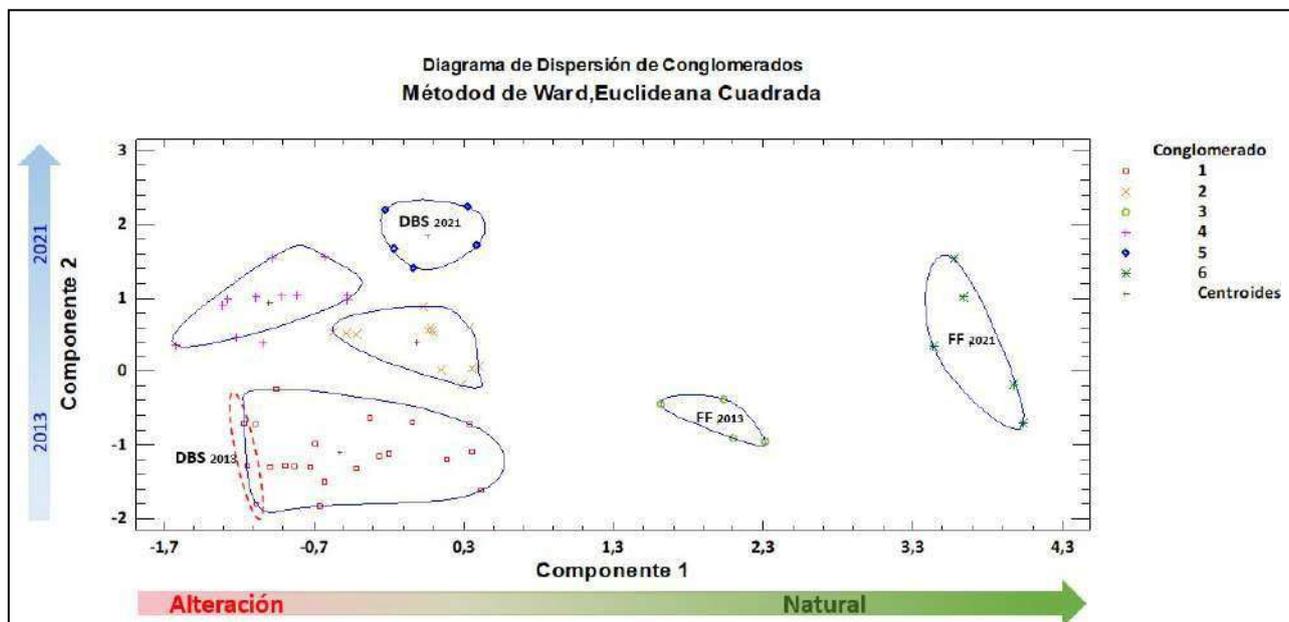
La gráfica de interacciones de medias obtenida en el análisis MLG (Gráfica 2), muestra el valor del SQIPFS para los diferentes tipos de cubierta y año. Se observa mayores valores para todos los tipos de cubierta en 2021 con relación al 2013. Las diferencias de cada cubierta con respecto a la zona control forestal, FF, única zona inalterada, son menores en 2021 que en 2013. Al inicio tras la construcción de la infraestructura en 2013, el valor del SQIPFS obtenido en la zona bajo seguidor, DBS, ( $0,35 \pm 0,07$ ) es 0,42 unidades menor con respecto a la zona control forestal, FF, ( $0,77 \pm 0,07$ ) del mismo periodo. Trascurridos más de cinco años tras la instalación, en 2021, la diferencia entre SQIPFS de DBS ( $0,57 \pm 0,05$ ) es 0,37 unidades menor que la zona control forestal, FF, ( $0,94 \pm 0,07$ ) del mismo periodo. Esta menor diferencia en 2021 indica la evolución del suelo bajo seguidor aproximándose hacia un suelo natural.



Gráfica 2. Valores medios del Índice de calidad del suelo en una planta solar fotovoltaica, SQIPFS, para la interacción del tipo de cubierta, dentro de la instalación D: (BS, bajo seguidor; DH, cubierta herbácea; DL, cubierta leñosa) y fuera, F: (FAH, agrícola herbáceo, FAL, agrícola leñoso y FF, forestal) con la evolución, en los periodos 2013 y 2021.

En el diagrama de dispersión de conglomerados (Gráfica 3) se generan 6 grupos de observaciones con características similares, en función de las componentes principales del índice de calidad del suelo de la planta solar fotovoltaica, SQIPFS, calculado. En la Componente 1, C1, observamos una distribución espacial, en la que quedan distribuidas las observaciones en función del nivel de alteración que sostiene el suelo, adquiriendo valores más negativos cuanto mayor es la perturbación y más positivos cuanto más natural. La Componente 2, C2, distribuye las observaciones temporalmente,  $C2 < 0$  para 2013 y  $C2 > 0$  para 2021. El grupo 1, con un valor medio del centroide en sus componentes de  $C1 = -0,53$  y  $C2 = -1,11$ , contiene todos los tipos de cubiertas estudiadas en 2013, en las primeras fases tras la construcción de la planta solar fotovoltaica, quedando la zona dentro de la infraestructura bajo seguidor,  $DBS_{2013}$ , situada en los menores valores de la C1 (-1,11). Los grupos 3 y 6, corresponden a la zona de fuera forestal, FF, de los años 2013 y 2021, únicas zonas naturales, con valores de los centroides en la C1 de 1,99 y 3,68 respectivamente. Los grupos 2 y 4, corresponden al 2021, contienen zonas de cubiertas tanto herbácea (DH) como leñosa (DL) de dentro de la planta solar fotovoltaica y de fuera en la cubierta herbácea (FAH) con un valor medio

entre  $-0,012$  y  $-0,99$ , respectivamente. Cabe destacar el grupo 5, compuesto en su totalidad por zonas bajo seguidor en 2021,  $DBS_{2021}$ , con un valor del centroide en la C1 de  $0,06$ ; siendo de todas las zonas estudiadas la que se desplaza en el tiempo más significativamente en la C1, alejándose de las zonas alteradas y aproximándose a las naturales.



Gráfica 3. Diagrama de Dispersión de Conglomerados con el Método Ward a una distancia métrica euclidiana cuadrada en función de las componentes principales del índice de calidad del suelo de la planta solar fotovoltaica, SQIPFS. Dentro, D: (DBS, bajo seguidor) y fuera, F: (FF, forestal) en los periodos 2013 y 2021.

### Discusión y Conclusiones:

Se ha calibrado un nuevo índice utilizando la metodología propuesta en estudios anteriores, Andrés *et al.*, 2019 (8), obteniéndose una función polinómica de tres variables relacionadas, para cuya determinación se han utilizado aquellos parámetros pertenecientes a las fracciones del suelo con un mayor peso en su cálculo, en este caso; actividad de deshidrogenasa, carbono total y nitrógeno. Estos son indicadores del impacto derivado de la construcción de la planta. Esta acción modifica el equilibrio entre las diferentes fracciones del suelo (organismos vivos, la materia orgánica y la materia mineral) por lo que éste ha de adaptarse a las nuevas condiciones.

El SQIPFS calibrado permite cuantificar los efectos producidos de la instalación de una planta solar fotovoltaica, así como su evolución en el tiempo. En función de los resultados obtenidos se demuestra la sensibilidad del índice de calidad empleado (SQIPFS) en este estudio, ya que pone de manifiesto las condiciones antes mencionadas. Se diferencian claramente, el primer año tras la construcción de la infraestructura, en el que distinguen dos tipos de suelo estudiado, suelo agrícola y removido de suelo forestal natural; del segundo periodo transcurridos más de cinco años tras la instalación, en el que se observa una clara distinción entre los diferentes tipos de cubierta tanto herbácea como leñosa de dentro de la instalación como de fuera, incluso la zona de dentro bajo el seguidor, en la que se observa una evolución mayor con unos valores del índice más altos, alejándose de los suelos agrícolas aproximándose hacia la zona forestal natural más estable.

Se puede concluir que el índice de calidad SQI refleja los cambios en la funcionalidad que sufren los suelos ante la acción de agentes perturbadores, como son la construcción de plantas solares fotovoltaicas y los cultivos agrícolas. Por tanto, puede considerarse una herramienta cuantitativa valiosa y se recomienda su aplicación en la vigilancia ambiental de este tipo de proyectos.

### Referencias / Bibliografía:

- (1) Dick, W. & Tabatabai, M. Soil Microbial Ecology. Applications in Agricultural and Environmental Management Significance and potential uses of soil enzymes. Blaine Meeting, F. New York: Marcel Dekker. 1993.
- (2) Ros, M., Hernández, M.T. & García, C., 2003. Bioremediation of soil degraded by sewage sludge: effects on soil properties and erosion losses. *Environmental Management*. 31, 741-747.
- (3) Andrés-Abellán M., Wic Baena C., García Morote F.A., Picazo Córdoba M.I., Candel Pérez D., Lucas-Borja M.E. 2011. Influence of the storage method on soil enzymatic activities in Mediterranean forest soils. *Forest Systems*. 20 (3), 379-388.
- (4) Bastida, F., Barberá, G.G., García, C., Hernández, T. 2008. Influence of orientation, vegetation and season on soil microbial and biochemical characteristics under semiarid conditions. *Applied Soil Ecology*. 38: 62-70.
- (5) Adeboye, M.K.A., Iwuafor E.N.O., Agbenin, J.O. 2006. The effects of crop rotation and nitrogen fertilization on soil chemical and microbial properties in a Guinea Savanna Alfisol o Nigeria. *Plant soil*. 281: 97-107
- (6) Wic-Baena C., Andrés-Abellán M., Lucas-Borja M.E., Martínez-García E., García Morote F.A., Rubio E.; López-Serrano F.R. 2013. Thinning and recovery effects on soil properties in two sites of a Mediterranean forest, in Cuenca Mountain (South-eastern of Spain). *Forest Ecology and Managemen*. 308, 223-230.
- (7) Andrés-Abellán M., Martínez García E., Wic Baena C., López Serrano F.R., García Morote F.A., Lucas Borja M.E., Dadi T., Picazo Córdoba M.I., Cervantes Peralta F., Roldán Arroyo, J.M. 2015. Valoración del impacto en suelo generado por la planta solar fotovoltaica "El Bonillo 16 +2 MW" (Albacete- España). VIII CONEIA. ISBN 978-84-491-0113-7, pp, 301-311.
- (8) Andrés-Abellán M., Wic-Baena C., López-Serrano F.R., García Morote F.A., Martínez-García E., Picazo M.I., Rubio E. Moreno-Ortego J.L., Bastida-López F., García C. A soil-quality index for soil from Mediterranean forest. *European Journal of Soil Science*. 70 (5):1001-1011(2019). DOI: 10.1111/ejss.12798.
- (9) Walkley, A. & Black, A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37, 29-38.
- (10) Bremner, J.M. Methods of soil analysis. Inorganic forms of nitrogen; Nitrogen availability indexes; Total nitrogen; Organic forms of nitrogen. C. Black et al. Madison. 1965.
- (11) Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S. & Dean, L. A. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. Department of Agriculture. Circular 939. U.S. Washington, D. C.
- (12) Anderson, J.P.E. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Soil. Respiration. A.L., Miller, R. H., Keeney, D.R. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Methods of Soil Analysis. 2nd. Edition. Madison. 1982.

- (13) Vance, E., Brookes, P. & Jenkinson, D. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*. 19: 703-707.
- (14) García, C., Hernández, T., Costa, F., Ceccanti, B. & Masciandaro, G. 1993. The dehydrogenase activity of soil as an ecological marker in processes of perturbed system regeneration. In: *Proceedings of the XI International Symposium of Environmental Biochemistry* (ed. Gallardo-Lancho, J.), pp. 89-100. CSIC, Salamanca, España.

## LA VIGILANCIA AMBIENTAL DEL PUERTO DE EL MUSSEL Y EL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE 14 Y 15. CASO PRÁCTICO.

Gómez de la Torre, V.<sup>1</sup>; Rodríguez García, J.<sup>1</sup>; González Arenales, M<sup>2</sup> y Granero Castro, J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>TAXUS MEDIO AMBIENTE, [vgomez@taxusmedioambiente.com](mailto:vgomez@taxusmedioambiente.com), Oviedo (Asturias)

<sup>2</sup>AUTORIDAD PORTUARIA DE GIJÓN, [mgarenales@puertogijon.es](mailto:mgarenales@puertogijon.es), Gijón (Asturias)

**Palabras clave:** ODS; Agenda 2030; Ecosistemas marinos; Puertos; Sostenibilidad ambiental; Acidificación.

### Resumen:

En 2015, los Estados Miembros de las Naciones Unidas aprobaron 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) como parte de la Agenda 2030. La Autoridad Portuaria de Gijón como órgano rector del Dominio Público Marítimo Terrestre, debe velar por los ecosistemas que existen en tierra y agua de su zona de gestión del Puerto de Gijón, también conocido como El Musel. Con el objeto de cumplir con los ODS 14 (Vida Submarina) y 15 (Vida de Ecosistemas Terrestres), se han realizado una serie de trabajos en el marco del plan de vigilancia ambiental del Puerto de El Musel, que engloban el estudio de los efectos de la acidificación en el mar y la polución por nutrientes sobre las comunidades biológicas, la realización de cartografías bionómicas, el seguimiento de la diversidad y del estado de los fondos marinos, el estudio de la presencia y expansión de especies invasoras, así como el seguimiento de especies protegidas de ámbito terrestre.

### Introducción:

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) constituyen un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo. En 2015, todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas aprobaron 17 Objetivos como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en la cual se establece un plan para alcanzar los Objetivos en 15 años.

La Autoridad Portuaria de Gijón como gestor de Dominio Público Marítimo-Terrestre, debe velar por los ecosistemas que existen en tierra y agua de su zona de gestión del Puerto de El Musel. Así, dentro del marco del Plan de Vigilancia Ambiental del Puerto de El Musel, se han realizado una serie de trabajos a lo largo del año 2021 para contribuir al cumplimiento los ODS 14 (Vida submarina) y 15 (Vida de Ecosistemas Terrestres):

- **ODS 14.** El Objetivo 14 trata de conservar y utilizar de forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible. En la actualidad existe un continuo deterioro de las aguas costeras debido a la contaminación y la acidificación de los océanos, que está teniendo un efecto adverso sobre el funcionamiento de los ecosistemas y la biodiversidad.
- **ODS 15.** El Objetivo 15 indica la necesidad de gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertización, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad.

**Material y Métodos:**

En el ámbito del cumplimiento de los ODS 14 y 15, se han realizado los trabajos que se resumen en la tabla siguiente:

Objetivo de Desarrollo Sostenible	Actuaciones
ODS 14	Estudio de la acidificación
	Relación Fitoplancton – Nutrientes
	Seguimiento visual de las comunidades bentónicas
ODS 15	Estudio de especies invasoras
	Estudio de especies protegidas

Tabla 1. Actuaciones realizadas en el ámbito del cumplimiento de los ODS 14 y 15

En los puntos siguientes se presenta la metodología seguida para la realización de cada una de las actuaciones resumidas en la tabla anterior (Tabla 1).

**1. Estudio de la acidificación**

El objetivo 14.3 establece la necesidad de minimizar y abordar los efectos de la acidificación de los océanos. Para ello, a lo largo de todo un ciclo anual se ha llevado a cabo un control trimestral del pH de la columna de agua en varias estaciones de muestreo. La toma de datos se ha realizado *in situ* a tres profundidades distintas (superficie, medio y fondo) y se ha empleado una sonda multiparamétrica portátil. En la tabla siguiente se muestran las coordenadas de los puntos de muestreo en los que se han realizado las mediciones.

Punto	Coordenadas X - Y UTM (Huso 30 – ETRS89)	Punto	Coordenadas X - Y UTM (Huso 30 – ETRS89)
CMM-A1	281.434,13 - 4.828.232,57	PD-01	284.631,03 - 4.824.905,53
CMM-A3	283.899,16 - 4.825.628,55	PD-A22	284.448,16 - 4.824.809,55
CMM-A4	285.711,18 - 4.825.619,56	MU-01	283.059,13 - 4.826.924,16
CMM-A5	285.632,18 - 4.824.753,55	MU-02	282.430,61 - 4.825.812,86
TOR-01	283.241,79 - 4.828.550,72	MU-A21	282.687,14 - 4.826.116,55
TOR-A2	283.887,17 - 4.828.210,58	CN-A6	278.151,08 - 4.833.446,63
TOR-03	283.066,32 - 4.827.829,34		

Tabla 2. Puntos de muestreo establecidos para el estudio de la acidificación

Una vez obtenidos todos los resultados, se ha desarrollado una simulación mediante software GIS aplicando el método de interpolación IDW (Distancia Inversa ponderada), el cual presupone que la variable disminuye su influencia en función de la distancia desde su ubicación de muestra. De forma complementaria, se ha llevado a cabo una ordenación a partir del análisis de correspondencias en base a los resultados de todas las mediciones realizadas.

**2. Estudio de la relación Fitoplancton – Nutrientes**

El objetivo 14.1 indica la necesidad de prevenir y reducir significativamente la contaminación marina de todo tipo, en particular la producida por actividades realizadas en tierra, incluidos los detritos

marinos y la polución por nutrientes. En este caso, en primer lugar se ha analizado la concentración de nutrientes (nitrato, amonio y fosfato) a tres profundidades en cada una de las estaciones de muestreo establecidas (ver Tabla 2), para posteriormente realizar simulaciones con los resultados obtenidos aplicando de nuevo el método de interpolación IDW.

En cuanto a la población fitoplanctónica, se ha considerado su biomasa (medida como concentración de clorofila 'a') como parámetro bioindicador de valoración. De manera homóloga al caso anterior, se ha analizado la concentración de clorofila 'a' a tres profundidades (superficie, medio y fondo) en las mismas estaciones de muestreo, y se ha procedido a la aplicación del método IDW con los valores registrados.

Finalmente se han comparado los resultados obtenidos con el objeto de establecer una posible relación entre ambos parámetros (concentración de nutrientes y biomasa fitoplanctónica).

### 3. Seguimiento visual de las comunidades bentónicas

Con el objeto de comprobar visualmente la diversidad y el estado que presentan las comunidades que viven en el fondo de las distintas zonas dependientes de la Autoridad Portuaria de Gijón, se ha llevado a cabo la toma de imágenes submarinas de los fondos de pequeñas áreas representativas de cada una de esas zonas, así como de las zonas colindantes al puerto (ver Tabla 3).

Unidad de Gestión Acuática Portuaria	Zona
Musel (MU)	-Punto de muestreo MU-SD02* -Punto de muestreo MU-SD03*
Puerto Deportivo (PD)	-Interior del Puerto Deportivo de Gijón -Punto de muestreo PD-SD07*
Costera Muy Modificada (CMM)	-Cabo Torres -Entorno Punta del Cervigón -Puerto Deportivo Marina Yates -Playa de San Lorenzo
Costera Natural (CN)	-Entorno Playa de Xivares -Entorno Playa del Tranqueru

\*Coordenadas UTM (H30-ETRS89): MU-SD02 (283.057,71-4.826.515,78); MU-SD03 (282.208,56-4.825.522,29); PD-SD07 (284.521,31-4.824.856,78)

Tabla 3. Zonas en las que se ha realizado el seguimiento visual de las comunidades bentónicas

Además de permitir estudiar el estado actual en el que se encuentran las comunidades bentónicas, la toma de estas imágenes permite establecer un punto de partida (fase 0 o estado cero) ante el posible efecto que pueda tener alguna situación no deseada sobre estas poblaciones.

Para llevar a cabo este seguimiento se han tomado imágenes mediante explorador subacuático profesional y se han realizado filmaciones mediante dron subacuático a control remoto, complementándolo con la toma de imágenes mediante buceo sin equipo autónomo.

En cada zona objeto de estudio se han realizado varios transectos hasta cubrir la superficie deseada.

### 4. Estudio de especies invasoras terrestres

Con el objeto de luchar contra la degradación de las comunidades biológicas autóctonas a causa de la expansión de especies invasoras, se ha llevado a cabo un seguimiento de este tipo de especies en todo el territorio por el que se extiende el puerto de El Musel.

En primer lugar, sobre plano, se han identificado las parcelas y/o zonas que se consideran aptas para ser ocupadas por plantas o que ya se encuentren vegetadas. A continuación, se ha explorado cada parcela o zona mediante transectos con esfuerzo en tiempo proporcional a su extensión. Donde se ha identificado la presencia de especies consideradas como flora invasora, se ha georreferenciado y cartografiado su extensión.

### **5. Estudio de especies protegidas**

El objetivo 15.5 propone adoptar medidas urgentes y significativas para reducir la degradación de los hábitats naturales, detener la pérdida de la diversidad biológica y, para 2020, proteger las especies amenazadas y evitar su extinción. En base a esto, se ha realizado un seguimiento de las especies protegidas, tanto de flora como de fauna, en el Musel y su entorno próximo. En concreto, y de forma más exhaustiva, se ha realizado el seguimiento de las siguientes especies: *Phalacrocorax aristotelis* y *Falco peregrinus*. Ambas especies están incluidas en el Catálogo Regional de Especies Amenazadas (CREA) y se tiene constancia de su presencia en los acantilados que forman el cabo Torres. Por otro lado, en cuanto a especies de flora protegida, se ha tenido especial consideración a la especie *Limonium vulgare*, incluida en el Catálogo Regional de Flora Amenazada de Asturias como Especie Sensible a la Alteración de su Hábitat.

El seguimiento del cormorán moñudo (*Phalacrocorax aristotelis*) y del halcón peregrino (*Falco peregrinus*), ambas aves amenazadas reproductoras en acantilados, se ha llevado a cabo siguiendo la misma metodología:

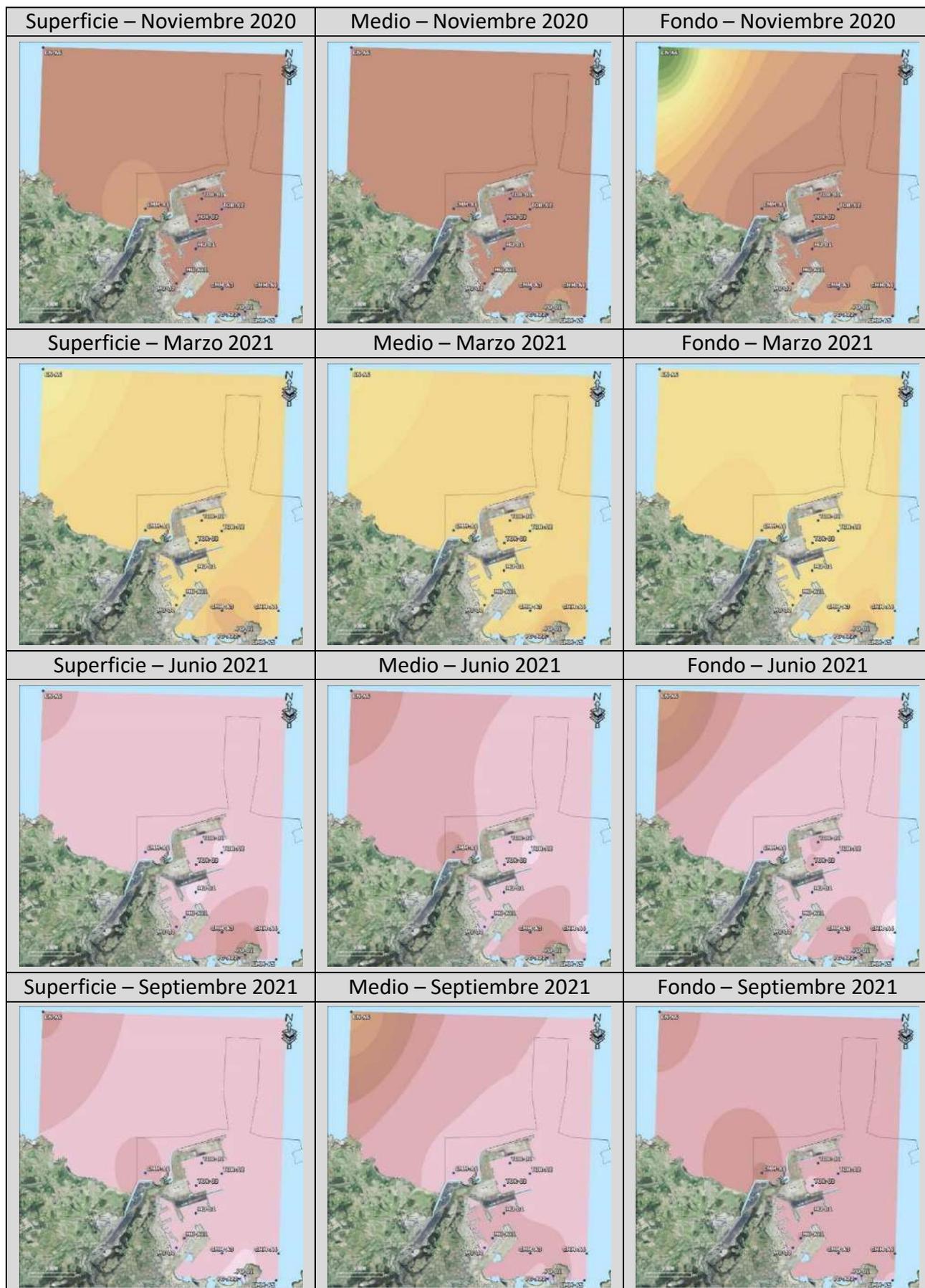
- **Estaciones de observación desde tierra** firme de 20 minutos de duración. Se han llevado a cabo dos jornadas de observación desde puntos que proporcionan buena visión de los cortados susceptibles de ser utilizados como lugares de reproducción (Cabo Torres) empleando prismáticos y telescopios terrestres.
- **Transectos desde embarcación.** Se ha llevado a cabo una jornada desde embarcación buscando la posible detección de nidos difíciles de localizar desde tierra firme, observando a distancia prudencial mediante prismáticos para evitar molestias a las aves.

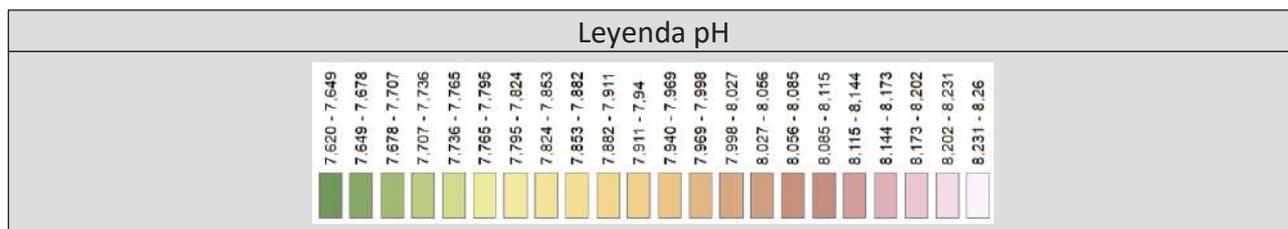
Por otro lado, el seguimiento de la acelga salada (*Limonium vulgare*) se ha realizado mediante la visita a la población localizada en la playa de Carranques, con el fin de determinar que la población no hubiese sufrido declive alguno con respecto a estudios previos llevados a cabo en la zona. Asimismo, durante el conjunto de la vigilancia que se lleva a cabo en El Musel y su entorno, se ha prestado atención a su posible presencia en una nueva localización.

### **Resultados:**

#### **1. Estudio de la acidificación**

En las simulaciones obtenidas se observa, de manera general, la existencia de tres zonas diferenciadas: una correspondiente al punto CN-A6, otra compuesta por los puntos PD-01 y PD-A22, y otra correspondiente al entorno próximo al puerto de El Musel.





Figuras 1-13. Simulaciones aplicando el método de interpolación IDW de los resultados de la medición de pH

Por otro lado, se ha llevado a cabo una ordenación a partir del análisis de correspondencias en base a los resultados de las mediciones de pH llevadas a cabo en los distintos puntos y campañas de muestreo (ver Figura 14). Así, en esta figura se puede observar que los puntos correspondientes a las estaciones de muestreo localizadas en el entorno de El Musel están muy próximos entre sí, detectándose cierta distancia con las estaciones CMM-A3, CMM-A1 y CMM-A5. Por otro lado, la estación CN-A6 compone su propio grupo separada del resto de estaciones, al igual que las estaciones ubicadas en el Puerto Deportivo de Gijón (PD-01 y PD-02). Examinando los tres grupos de manera individual se observa que el grupo que compone la UGAP “Puerto Deportivo” presenta, de manera general, unos valores de pH más básicos que el resto de estaciones de muestreo. Por el contrario, la UGAP “Costera Natural” tiende a presentar un pH más ácido a lo largo de la columna de agua. No obstante a todo lo anterior, hay que destacar que las diferencias observadas son mínimas, obteniéndose unos valores de pH similares entre los distintos puntos de muestreo analizados en cada una de las campañas de muestreo.

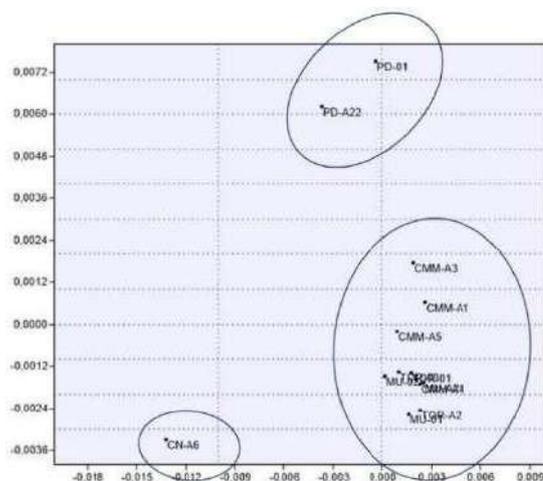
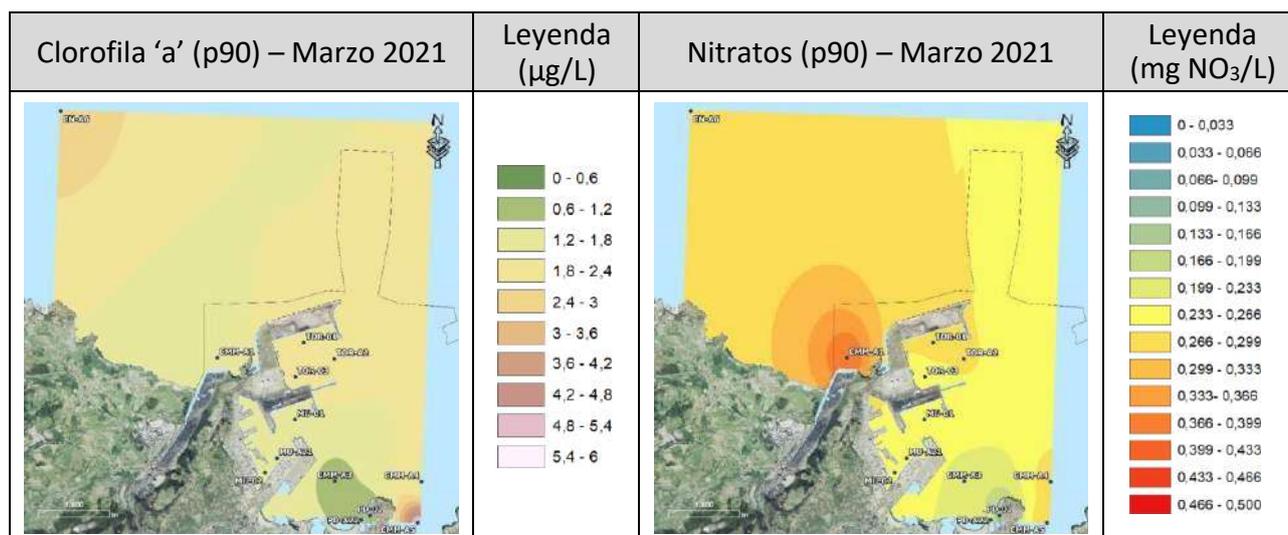


Figura 14. Ordenación obtenida a partir del análisis de correspondencias

## 2. Estudio de la relación Fitoplancton – Nutrientes

Los resultados del análisis de la concentración de nutrientes (nitrato, amonio y fosfato) mostraron en muchos casos, concentraciones por debajo del límite de cuantificación. Han destacado los valores relativos a la concentración de nitrato registrados en las campañas de marzo, junio y septiembre de 2021, en las que se han obtenido, por lo general, concentraciones superiores al límite de cuantificación. Comparando los resultados obtenidos en las mencionadas campañas, destaca la correspondiente al mes de marzo por ser aquella que presenta concentraciones superiores al resto. En base a lo anterior y con el objeto de comparar la concentración de nitrato con la biomasa fitoplanctónica, se ha calculado el percentil 90 de los valores obtenidos para ambos parámetros en la campaña de marzo de 2021, procediendo a continuación a la simulación mediante el método IDW de estos percentiles.



Figuras 15-16. Simulaciones aplicando el método de interpolación IDW de los percentiles 90 de clorofila 'a' y nitrato obtenidos en marzo de 2021

No parece apreciarse una relación clara entre la biomasa fitoplanctónica (clorofila 'a') y la concentración de nitrato registrada. Únicamente se observa que en el entorno próximo al Puerto Deportivo de Gijón (estaciones PD-01 y PD-02) se registran los menores valores para ambos parámetros, pudiendo indicar que la comunidad de fitoplancton no se desarrolla a un mayor nivel debido a la escasez de nutrientes. Hay que tener en cuenta que la concentración de amonio y fosfato se encontraba, de manera general, por debajo del límite de cuantificación, lo que podría representar un factor limitante para el desarrollo de la comunidad fitoplanctónica. De este modo, se podría explicar una menor densidad celular en zonas con mayor aporte de nitratos que de amonio. Esta diferencia podría deberse a que la incorporación de nitrato al interior celular se lleva a cabo mediante transporte activo con el consecuente gasto de energía. Sin embargo, el amonio se incorpora mediante mecanismos pasivos sin gasto energético, por lo que los organismos de fitoplancton, así como el resto de productores primarios, prefieren como fuente principal de nitrógeno el amonio.

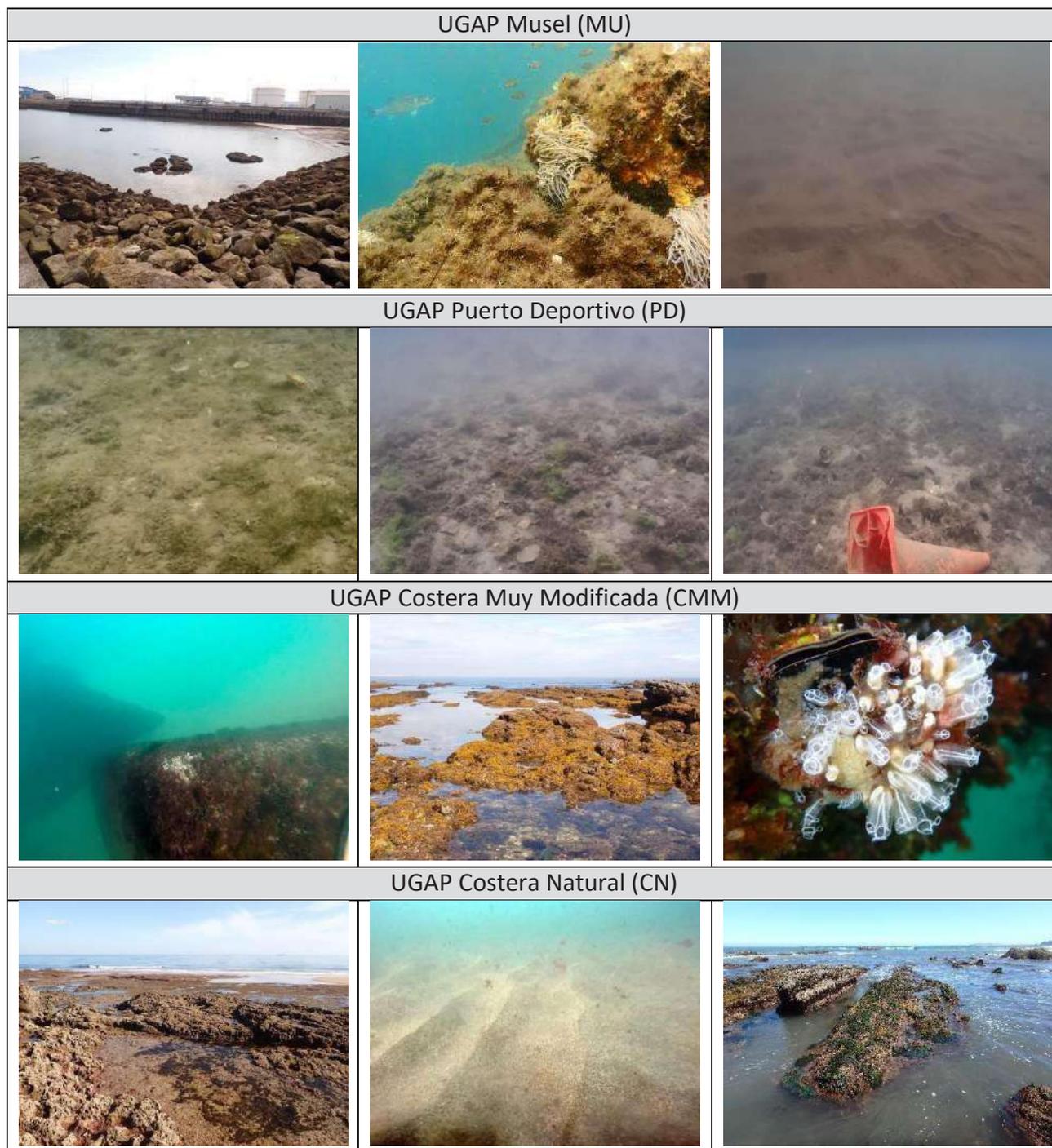
### 3. Seguimiento visual de las comunidades bentónicas

El seguimiento visual de las comunidades bentónicas ha mostrado diferencias notables entre aquellas zonas con un elevado grado de antropización (puertos) y aquellas zonas más naturales.

El seguimiento realizado en el Puerto Deportivo de Gijón muestra una comunidad bentónica no muy diversa y numerosos restos y/o desechos antrópicos.

Las imágenes obtenidas en el Puerto Deportivo de Marina Yates han mostrado resultados no esperados *a priori*, detectándose una comunidad bentónica con una gran diversidad que se ha establecido en los laterales de los pantalanés que están en contacto con el agua o sumergidos completamente.

En cuanto a los fondos del Puerto de El Musel, se ha observado una gran variabilidad en función de la zona en la que se han tomado las imágenes, destacando la comunidad bentónica establecida en el entorno del punto de muestreo MU-SD02.



Figuras 17-28. Imágenes tomadas en las distintas zonas estudiadas

En el resto de zonas en las que se han realizado los seguimientos muestran comunidades bentónicas diversas y bien establecidas, dependiendo en gran medida de la exposición al oleaje que presenten.

#### 4. Estudio de especies invasoras terrestres

El seguimiento de especies invasoras terrestres ha determinado la presencia de *Buddleja davidii* y *Cortaderia selloana* en varias ubicaciones dentro del puerto de El Musel, mostrando una elevada dispersión en ambos casos.

En base a los resultados obtenidos, en septiembre de 2021 se llevaron a cabo labores de eliminación de estas especies por parte de técnicos contratados por la Autoridad Portuaria de Gijón.

### 5. Estudio de especies protegidas

En el Cabo Torres hay una comunidad de cormorán moñudo bien establecida, detectando diez nidos en las paredes de los acantilados.



Figura 29. Localización de los nidos de cormorán moñudo en el Cabo Torres

Nido	Resultados	Éxito reproductor
1	2 adultos sin pollos visibles	0
2	1 adulto y 3 crías medianas	3
3	1 adulto con 2 crías pequeñas	2
4	2 adultos y 2 crías grandes	2
5	2 adultos sin pollos visibles	0
6	2 adultos y 1 cría pequeña	1
7	2 adultos y 2 crías medianas	2
8	1 adulto y 2 crías grandes	2
9	Nido sin individuos	0
10	1 adulto	0

Tabla 4. Individuos de cormorán moñudo localizados en el Cabo Torres

En cuanto al halcón peregrino, únicamente se ha detectado un nido situado en este cabo. El seguimiento de la acelga salada (*Limonium vulgare*) en la playa de Carranques ha concluido que sus características poblacionales se mantienen similares con el resto de estudios previos.

### Discusión y Conclusiones:

La ampliación de los trabajos realizados en el marco del Plan de Vigilancia Ambiental del Puerto de El Musel ha permitido establecer un punto de partida en el estado de numerosos indicadores fisicoquímicos y biológicos, persiguiendo el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y colaborando con el plan de acción de la Agenda 2030.

Para poder analizar la existencia de patrones entre las distintas comunidades biológicas estudiadas y las diferentes condiciones ambientales analizadas es necesario realizar un mayor número de campañas de muestreo.

La realización de este tipo de estudios a lo largo del tiempo arrojará resultados correspondientes a la evolución de cada uno de los indicadores estudiados y permitirá plantear mejoras o medidas correctoras con el objeto de asegurar el cumplimiento de los ODS.

## **APLICACIÓN DE LAS CONCLUSIONES DEL ESTUDIO BÁSICO DE DINÁMICA LITORAL DEL PROYECTO DE DRAGADO DEL CANAL DE LA RÍA DE NAVIA EN LA REGENERACIÓN INDIRECTA DE LA PLAYA DE NAVIA. CASO PRÁCTICO.**

Gómez de la Torre, V.<sup>1</sup>; Montes Cabrero, E. <sup>1</sup>; Rodríguez García, J.<sup>1</sup>; Torp Larsen, P.<sup>2</sup> y Granero Castro, J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Área Medio Ambiente y Sostenibilidad, TAXUS MEDIO AMBIENTE,  
e-mail: vgomez@taxusmedioambiente.com, Oviedo (Asturias)

<sup>2</sup>DHI Spain, e-mail: Ptl@dhigroup.com, San Sebastián (Guipúzcoa)

**Palabras clave:** Dinámica litoral; Regeneración de playas; Aprovechamiento arenas; Uso productivo; MIKE 21 FM.

### **Resumen:**

Con el objetivo de dar salida a elementos navales construidos en los astilleros localizados en la ría de Navia (Asturias), es necesario dragar periódicamente el canal de acceso al mar desde las instalaciones. Por otro lado, desde hace varios años se observa un retroceso de los sistemas dunares de la playa de Navia, mostrando un balance negativo del material sedimentario que la conforma.

El desarrollo de un Estudio Básico de Dinámica Litoral determinó el movimiento que sufre el sedimento vertido históricamente y permitió establecer una nueva propuesta con el objeto de contribuir de manera indirecta a la regeneración de la playa de Navia. Para la realización del estudio se ha empleado el modelo MIKE 21 FM de última generación, que simula flujos variables considerando la batimetría, variaciones de densidad y variables externas como mareas, corrientes y agentes meteorológicos.

### **Introducción:**

Con el objetivo de mantener un calado mínimo que permita el tránsito de buques por la ría de Navia, se hace necesaria la ejecución de dragados de mantenimiento que eviten el encallamiento de las embarcaciones. Para ello, desde los años 90 se vienen realizando dragados periódicos y de carácter puntual, sobre aquellas zonas en las que exista un depósito de sedimentos frecuente. El vertido de los sedimentos dragados se realiza dentro del mismo sistema sedimentario, por lo que en ningún caso se podrá dar un balance del material sedimentario negativo en el sistema de la ría de Navia, distribuyéndose este material de nuevo por todo el sistema en las zonas de sedimentación al cabo de un periodo de tiempo.

Por otro lado, desde hace varios años se observa un retroceso de los sistemas dunares de la playa de Navia, mostrando un balance negativo del material sedimentario que la conforma, aspecto que preocupa a las autoridades competentes y que es objeto de análisis especial en proyectos como este.

El desarrollo de un Estudio Básico de Dinámica Litoral determinó el movimiento que sufre el sedimento vertido históricamente y permitió establecer una nueva propuesta de vertido con el objeto de contribuir de manera indirecta a la regeneración de la playa de Navia.

Para la elaboración del Estudio Básico de Dinámica Litoral se atendió a los contenidos establecidos en el Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de Costas, concretamente a lo establecido en sus artículos 88, 91 y 93.

### **Material y Métodos:**

Se ha realizado un estudio de dispersión en el que se analiza la evolución del sedimento vertido en dos ubicaciones distintas: punto de vertido utilizado actualmente y una nueva propuesta cercana a la playa de Navia.

Para el desarrollo de las simulaciones se han tomado como principales agentes forzadores el oleaje, el viento y la marea, concretamente los datos correspondientes al periodo comprendido entre marzo y julio de 2018, y se ha definido un paso temporal mínimo de 0,01 segundos y un paso máximo de 30 segundos. Por otro lado, se ha aplicado un coeficiente de fricción Manning de 32, constante en toda la zona, y los tamaños de malla varían entre 10 m<sup>2</sup> en la zona cercana a los vertidos, 25 m<sup>2</sup> en la zona de la playa y ría, y 50 m<sup>2</sup> en el resto. En cuanto a las zonas de los contornos se han definido como cuadrados de 20 x 20 m.

Una vez obtenidos los resultados, se han contrastado con la comparativa de la batimetría correspondiente al 2018 y al 2020 facilitada por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria.

A continuación se describe con mayor detalle la metodología seguida para el desarrollo de las simulaciones llevadas a cabo.

#### **1. Modelización hidrodinámica**

Para la realización del estudio se ha empleado el modelo MIKE 21 FM de última generación (desarrollado por DHI). Este modelo simula flujos variables teniendo en cuenta la batimetría, las variaciones de densidad y las variables externas que gobiernan el sistema tales como mareas, corrientes y agentes meteorológicos.

Para este estudio se configuraron modelos numéricos bidimensionales simulando el flujo y el transporte de sedimentos utilizando el software MIKE21 de DHI (2020), que se basa en un método de volúmenes finitos. Aplicando la técnica de malla flexible para redes no estructuradas fue posible enfocar en detalle las ubicaciones específicas de depósitos de arena sin usar modelos anidados.

Para el modelo del estuario, la hidrodinámica se resuelve mediante la ecuación de RANS, con una densidad acoplada al transporte de salinidad. Para la turbulencia se aplicó un enfoque k-ε en la dirección vertical y el enfoque de Smagorinsky de longitud de mezcla en la dirección horizontal. La resistencia al flujo se basa en un enfoque de rugosidad según Nikuradse.

Los datos oceanográficos utilizados para la construcción del modelo corresponden al periodo comprendido entre marzo y julio de 2018. En cuanto a la batimetría, para el desarrollo del modelo se han utilizado datos batimétricos correspondientes a mayo de 2020.

La discretización del área del estudio se ha llevado a cabo mediante un método en volúmenes finitos de resolución variable en el dominio. En el plano horizontal se han empleado elementos triangulares de dos tamaños para conseguir una modelización más precisa. La zona que abarca el área de vertido y las zonas cercanas a la playa de Navia se han modelizado con elementos más pequeños (10-15 m<sup>2</sup>), y para el resto del área se han empleado dimensiones mayores (50-100 m<sup>2</sup>). En cuanto al contorno de la línea de costa, el modelo no tiene un contorno fijo, sino que dependerá de si las celdas están mojadas o secas.

Se ha utilizado un modelo local de tres contornos abiertos sobre los que se han impuesto condiciones de contorno de “Flather”, que emplean simultáneamente componentes de la velocidad y elevación de la superficie. Se trata de una de las condiciones de contorno abiertas más eficientes, especialmente cuando se pretende transferir información de modelos regionales a modelos locales de gran resolución (downscaling).

La variación de la elevación de la superficie y los flujos U y V empleados se han obtenido del modelo regional del HYCOM.org (1).

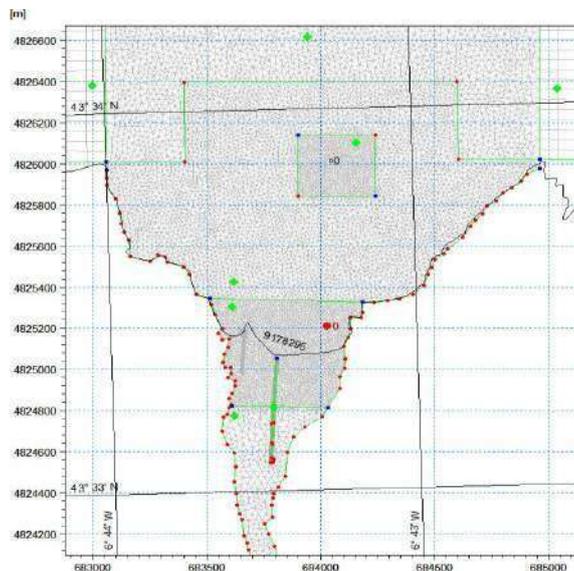
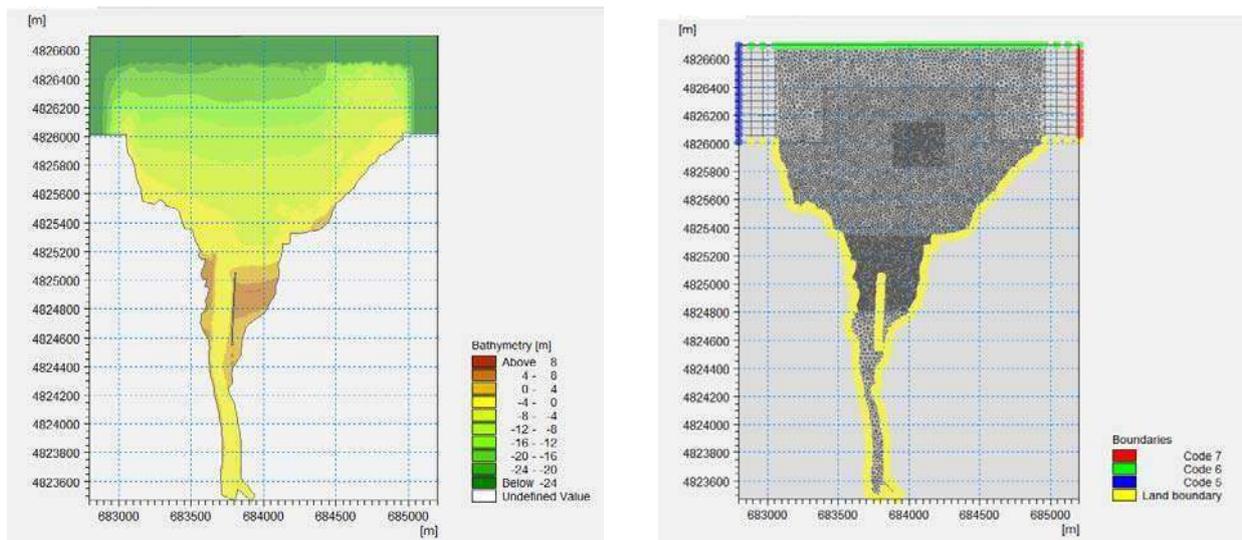


Figura 1. Discretización horizontal del dominio mediante elementos triangulares y cuadrangulares de tamaño variable



Figuras 2-3. Batimetría generada. Las líneas de color indican los contornos abiertos del modelo

El tiempo y la precisión de la simulación se pueden controlar especificando el orden de los esquemas numéricos que se utilizan en los cálculos. Se puede especificar tanto el esquema para la integración del tiempo como para la discretización del espacio. Se puede seleccionar un esquema de orden inferior (primer orden) o un esquema de orden superior, siendo el primero de ellos más rápido pero menos preciso.

La integración temporal de las ecuaciones de aguas someras y las ecuaciones de transporte (advección-dispersión) se realiza utilizando un esquema explícito. Debido a la restricción de estabilidad que utiliza un esquema explícito, el intervalo de tiempo debe seleccionarse de modo que el número de CFL sea menor que 1. Se utiliza un intervalo de tiempo variable en el cálculo de las ecuaciones de aguas poco profundas y las ecuaciones de transporte, de modo que el número CFL no alcance valores críticos en todos los nodos computacionales. El número CFL para las ecuaciones de transporte suele ser menos restrictivo que para las ecuaciones de aguas poco profundas. Por lo tanto, para las ecuaciones de transporte se usa normalmente un intervalo de paso de tiempo más grande que las ecuaciones de aguas poco profundas. Para controlar el paso de tiempo también es posible establecer un paso de tiempo mínimo y un paso de tiempo máximo. El intervalo de paso de tiempo para las ecuaciones de transporte se sincroniza con el paso de tiempo general y el intervalo de paso de tiempo para las ecuaciones de aguas poco profundas se sincroniza para coincidir con el intervalo de paso de tiempo para las ecuaciones de transporte.

En base a lo anterior, el modelo desarrollado utiliza un paso temporal variable que depende del número CFL, definiéndose un paso de tiempo mínimo de 0,01 segundos y un paso de tiempo máximo de 30 segundos. Por otro lado, para el transporte de sedimentos, se ha aplicado un factor de aceleración de 10, que significa que la parte de transporte se calcula con un paso temporal de máximo 5 minutos.

En cuanto al coeficiente de fricción, tal y como ya se ha comentado se ha aplicado un Manning de 32 constante para toda la zona. La tensión debida a la fricción en el lecho está determinada por una ley de fricción cuadrática:

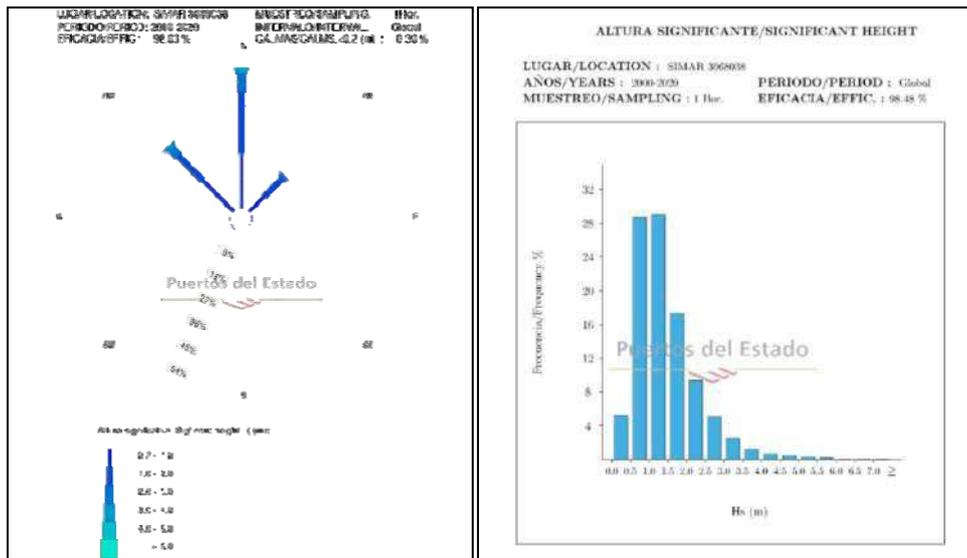
$$\tau_f = \rho_0 C_{fb} u^2$$

Donde  $C_{fb}$  es el coeficiente de arrastre y  $u = (u,v)$  es la velocidad de flujo promediada en profundidad. El coeficiente de arrastre se determina a partir del número Chezy (C) o el número Manning (M).

$$C_{fb} = \frac{g}{C^2}$$

$$C_{fb} = \frac{g}{M^2 h^{1/3}}$$

Para incluir los efectos del oleaje en el modelo se ha partido de los datos que se encuentran publicados en la red de Puertos del Estado, concretamente los correspondientes al punto SIMAR 3066038 (2).



Figuras 4-5. Datos de la altura significativa del oleaje (punto SIMAR 3066038).

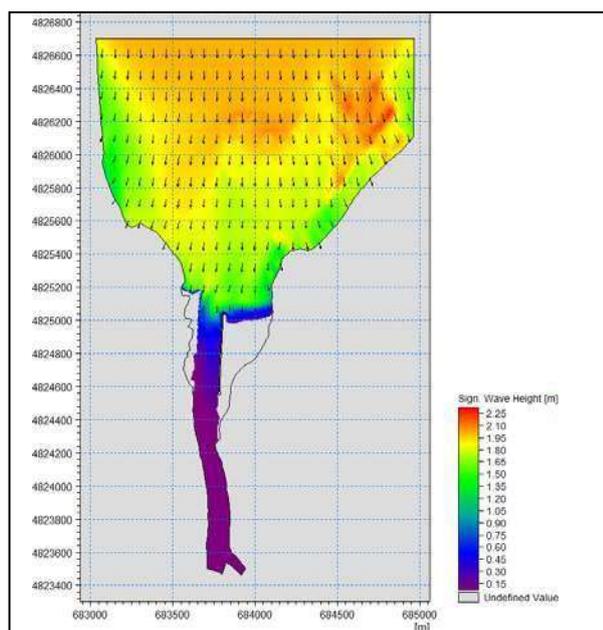


Figura 6. Altura significativa  $H_p$  simulada con MIKE 21 SW.

## 2. Modelización de la sedimentación

La forma y la intensidad de los penachos de turbidez y los depósitos de sedimentos resultantes dependen de varios parámetros. En primer lugar, las condiciones hidrodinámicas como las mareas y las corrientes inducidas por el viento, son los principales impulsores de la magnitud de los efectos de los vertidos en los ambientes estuarinos y marinos. La intensidad y la dirección de la corriente, que están presentes durante y directamente después de los trabajos, determinan hacia dónde se dirigen las columnas de sedimentos, pero también son importantes los efectos secundarios como la difusión debida a la turbulencia y la dispersión debida a la variación espacial de las corrientes. Además, la profundidad del fondo en el punto en el que se libera el vertido afecta el ancho de la columna y la deriva del sedimento. Las fracciones de sedimento fino que se derraman, así como su velocidad de sedimentación, influyen en la intensidad del vertido y finalmente, en su impacto ambiental. Un estudio reciente del comportamiento de la pluma indica que solo alrededor del 3-10% del sedimento de desbordamiento se derrama, mientras que el resto desciende directamente en una pluma local (3). En segundo lugar, los efectos del vertido de sedimentos dependen de la intensidad del vertido, que se define como el producto del volumen y el rendimiento por tiempo. La cantidad de material depositado varía según el tipo de draga, la secuencia y la duración de los procesos de dragado y vertido, y el volumen total de dragado planificado. El rendimiento de dragado depende de las características del sedimento y del dispositivo de dragado desplegado. Pero incluso poco después del depósito del sedimento, se puede volver a suspender debido a las tensiones de cizallamiento del lecho significativamente más bajas, en comparación con el sedimento consolidado en el lecho marino.

El transporte de sedimentos se simuló mediante un modelo bidimensional utilizando el módulo de transporte de lodos (MT) de MIKE 3 (DHI 2020) con una descripción específica del comportamiento de los sedimentos cohesivos y la arena fina. La erosión y el depósito se incluyen según el enfoque del esfuerzo crítico de corte. La tasa de erosión se basa en el enfoque según Partheniades para

Para la propagación de la ola se ha usado el modelo de DHI de MIKE 21 SW – Spectral Waves. Como datos de entrada al modelo se ha usado las series temporales de  $H_s$ ,  $T_p$  y  $Dir$  para el periodo estudiado: de marzo de 2018 a julio del mismo año. En los resultados de las simulaciones con el modelo MIKE21 SW se pueden ver los efectos de oleaje, quedando incluidos en el modelo MIKE 21 HD. Se ha aplicado una variación temporal del oleaje, periodo y dirección para cada mes.

En la figura 6 se muestra la altura significativa en todo el área, aplicando los parámetros mediados de cada mes como contorno del norte.

Para poder aplicar los efectos debidos a las mareas, al igual que para el caso del oleaje, se ha utilizado la información que se encuentra publicada en la red de Puertos del Estado, concretamente la referida al Mareógrafo de Gijón (2).

sedimentos cohesivos consolidados. En la tasa de depósito según Krone se incluyen las velocidades de sedimentación.

Para la caracterización de los sedimentos de la zona de estudio se ha usado un valor de  $D = 0,4\text{mm}$ . Para el punto de vertido que se viene utilizando históricamente (Vertido 1) se ha utilizado un modelo de una única capa que contiene un sedimento homogéneo en toda la zona, mientras que para el punto de vertido propuesto en las inmediaciones de la playa de Navia (Vertido 2), además de la simulación con capa homogénea, se ha simulado el periodo con un modelo que contiene dos capas de sedimentos: una capa superior (móvil) y una capa de sedimento consolidado (menos móvil).

### 3. Caracterización de las operaciones

En base a los trabajos llevados a cabo entre 2016 y 2020, se ha diseñado y aplicado un periodo operacional de 12 días en el que se llevan a cabo vertidos diarios de material. Así, en cada periodo diario, la draga haría 7 viajes en los que vertería una cantidad aproximada de  $250\text{ m}^3$  por viaje.



Figura 7. Ciclo diario de vertido del material.

El vertido de material se plantea cada 45 minutos y con una duración máxima de 5 minutos para la descarga del mismo. Una vez finalizada la fase operacional de 12 días, se ha aplicado un periodo de inactividad de 4 meses. Resumiendo, se simulan los siguientes intervalos:

- Periodo operacional: 12 días (1 de marzo de 2018 – 12 de marzo de 2018).
- Periodo sin actividad: 12 marzo de 2018 – 1 de julio.

Por otro lado, tal y como se ha comentado anteriormente, se estudian dos ubicaciones distintas para el punto de vertido, uno exterior que se ha venido utilizando actualmente (Vertido 1) y otro más interior, en las inmediaciones de la playa de Navia (Vertido 2). Sus coordenadas se presentan en la siguiente tabla:

Punto	Coordenadas UTM (Huso 29 – ETRS89)	
	X	Y
Vertido 1	684.045	4.826.013
Vertido 2	684.025	4.825.212

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de vertido.

**Resultados:**

El aumento de la concentración de sedimentos suspendidos a corto plazo y la deposición de sedimentos a más largo plazo, son los aspectos clave para el impacto del vertido del material dragado. Ambos han sido analizados en cuanto a distribución e intensidad espacial.

**1. Resultados hidrodinámicos**

Los resultados del modelo hidrodinámico son una combinación de las condiciones de contorno aplicadas y los resultados del modelo de onda espectral.

Las siguientes figuras (figuras 8 y 9) muestran el mapa de velocidad y los vectores de velocidades, observándose que las corrientes más elevadas se localizan cerca de la costa, donde el efecto del oleaje es más grande, variando entre 0.5 m/s y 1 m/s. Se trata de una situación característica de pleamar/bajamar.

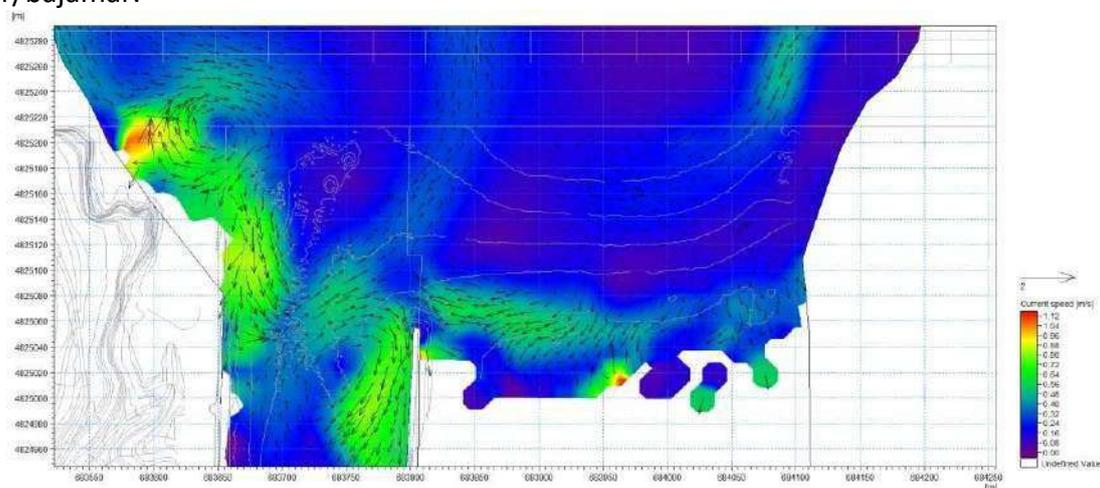


Figura 8. Hidrodinámicas durante el periodo de marea baja.

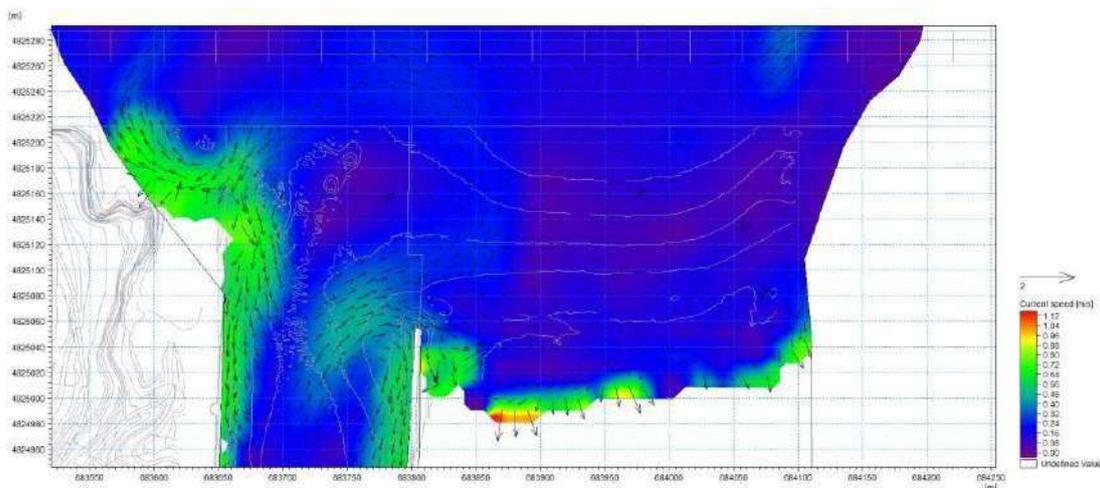


Figura 9. Hidrodinámicas durante el periodo de marea alta.

## 2. Variación del lecho marino

Como resultado final de las operaciones se obtiene una variación en el nivel del lecho marino. Tras la aplicación del modelo sobre el punto de vertido utilizado en la actualidad (Vertido 1), se observa una dispersión del material fundamentalmente hacia el sur y sureste, tal y como se visualiza en la figura siguiente (figura 10).

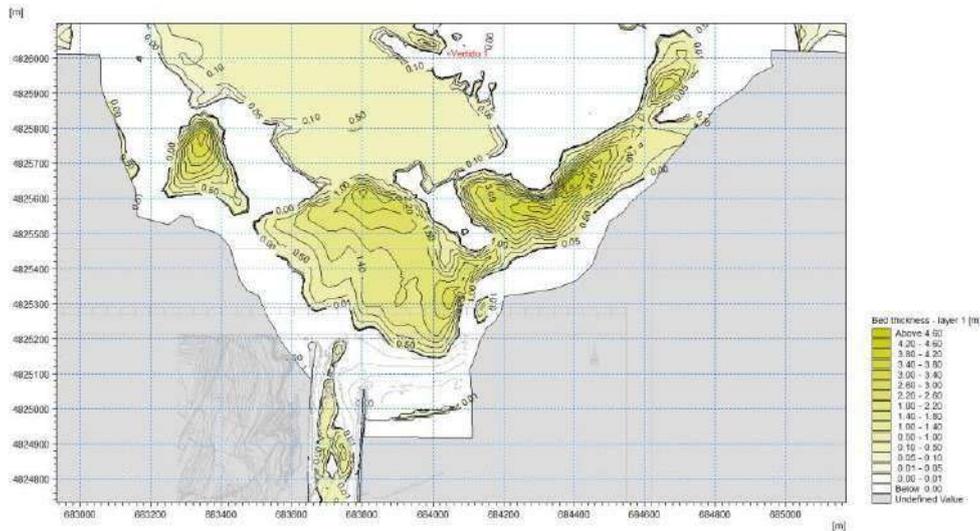


Figura 10. Cambio del lecho marino tras el periodo de inactividad (4 meses) correspondiente al punto de Vertido 1.

En cuanto a los escenarios correspondientes al nuevo punto de vertido propuesto (Vertido 2) tras el periodo de inactividad de 4 meses, se ha elaborado la simulación en base a dos modelos diferentes: uno con una capa homogénea de sedimentos ( $D=4\text{mm}$ ) y otro con 2 capas verticales (10 cm de lecho móvil y 70 cm de sedimento consolidado). De esta forma se considera que la arena que está presente inicialmente en la playa no se traslada con la misma facilidad que los sedimentos introducidos.

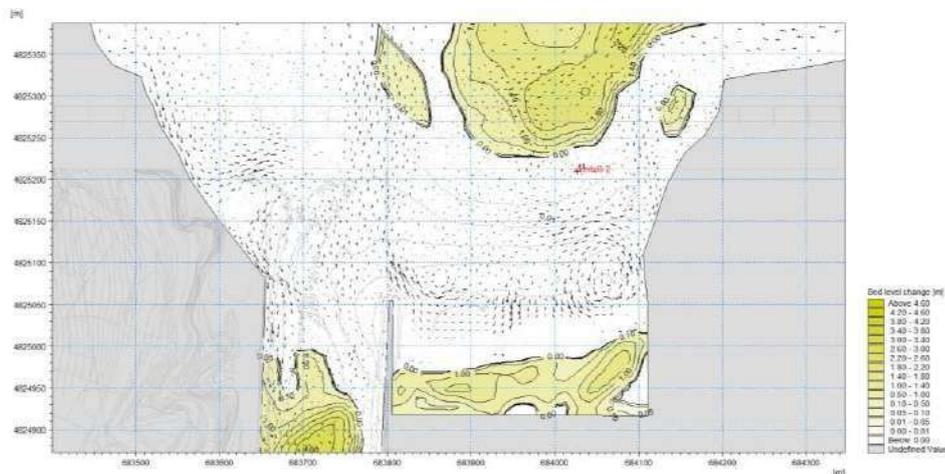


Figura 11. Cambio del lecho marino en las inmediaciones de la playa de Navia tras el periodo de inactividad (4 meses) correspondiente al punto de Vertido 2 según el modelo de capa homogénea.

La figura anterior (figura 11), correspondiente a la aplicación del modelo de capa homogénea desarrollado sobre el nuevo punto de vertido propuesto (Vertido 2) muestra, tras 4 meses de inactividad, una tendencia de depósito de material al norte de la zona de vertido, en la desembocadura de la ría y en las proximidades de la playa de Navia.

Por otra parte, con el objeto de simular un comportamiento del sedimento más ajustado con la realidad, se ha diseñado un segundo modelo en el que se aplican dos capas verticales distintas. De forma complementaria, se ha realizado un perfil de la playa de Navia en el que se muestra la modificación de la cota en un punto determinado de la misma.

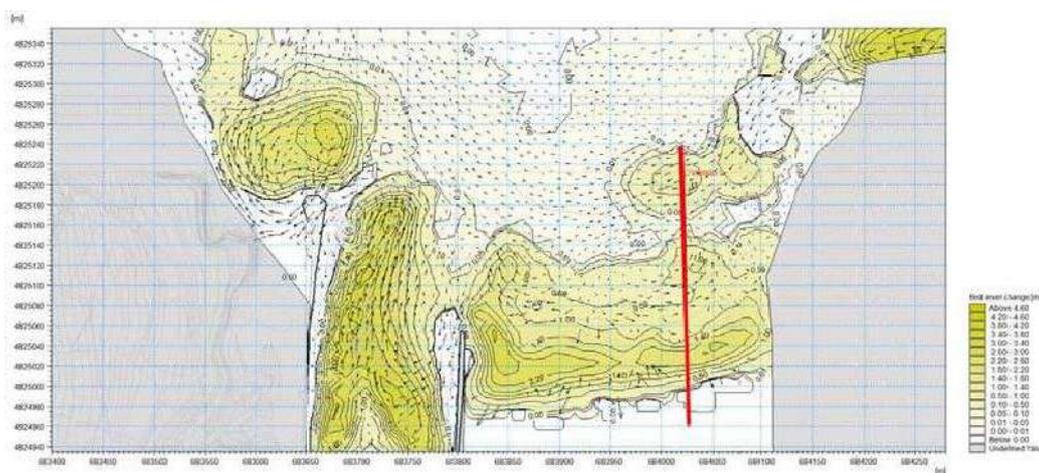


Figura 12. Cambio del lecho marino en las inmediaciones de la playa de Navia tras el periodo de inactividad (4 meses) correspondiente al punto de Vertido 2 según el modelo de 2 capas verticales.

Comparando los resultados obtenidos tras la aplicación de los dos modelos diseñados para el punto Vertido 2, se observa que, como era de esperar, existe mayor movimiento de sedimento en el modelo de capa homogénea, mientras que el segundo modelo (2 capas) muestra una mayor acumulación de sedimento en el entorno de la playa de Navia y en la desembocadura de la ría. En cuanto al perfil realizado en la playa de Navia (representado como una línea transversal en la figura 12) se observa una acumulación de arena de entre 1 y 1,5 metros.

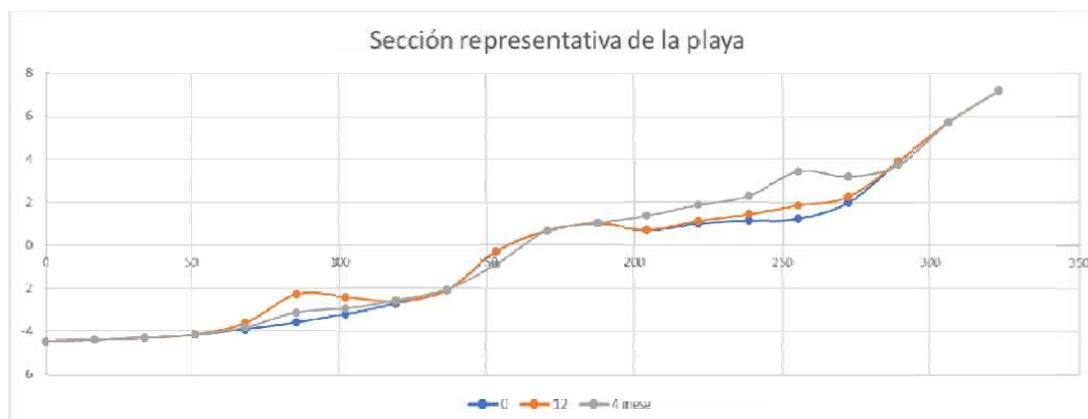


Figura 13. Sección representativa de la playa de Navia correspondiente al escenario inicial (0), tras el periodo de operaciones (12 días) y tras el periodo de inactividad (4 meses) según el modelo de 2 capas verticales.

### **Discusión y Conclusiones:**

Teniendo en cuenta lo reflejado con anterioridad, no se espera que a raíz de la ejecución de los dragados puedan darse alteraciones en la dinámica sedimentaria del estuario.

El material vertido en el punto establecido actualmente no se mantiene en esa zona, sino que se dispersa por completo, al menos, en un periodo de 4 meses.

La utilización del punto de vertido actual aporta material arenoso a las playas del Moro, de Foxos y de Navia (en mucha menor medida que en las anteriores).

El vertido del material en el nuevo punto de vertido propuesto (Vertido 2) aportaría mayor cantidad de material arenoso a la playa de Navia, aunque también puede disminuir el calado en la desembocadura de la ría en un menor periodo de tiempo.

### **Referencias / Bibliografía:**

- (1) <https://boundary-generator.dhigroup.com/>.
- (2) <https://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>.
- (3) Spearman, J.R.; Manning, A.J.; Whitehouse, R.J.S. 2011. The settling dynamics of flocculating mud and sand mixtures: part 2 – numerical modelling. *Ocean dynamics* 61,351-370.

## DISEÑO ESPECÍFICO DE ESTRATEGIAS DE CAPTURA Y SALVAGUARDA PISCÍCOLA EN INSTALACIONES Y CENTRALES HIDRÁULICAS

Villazán Peñalosa, B<sup>1</sup>; Cordón Ezquerro, J<sup>1</sup>; Escudero Marina, A<sup>1</sup>; González Corral, E<sup>1</sup>; Mateo López, M<sup>1</sup>; Marina, A<sup>1</sup>; Ortega Fernández, A<sup>2</sup>; Armas Mouriño, R<sup>2</sup>; Granero Castro, J<sup>1</sup>

<sup>1</sup>TAXUS MEDIO AMBIENTE, [bvillazan@taxusmedioambiente.com](mailto:bvillazan@taxusmedioambiente.com), Oviedo – Asturias

<sup>2</sup>Endesa Generación S.A., Ponferrada - León

**Palabras clave:** Técnicas de pesca eléctrica; Técnicas de pesca manual; Salvaguarda piscícola; Estrategias de captura; Ictiofauna; Central Hidroeléctrica.

### Resumen:

En el año 2020, con motivo de las actuaciones de mantenimiento llevadas a cabo en diferentes infraestructuras de centrales hidráulicas pertenecientes a la Unidad de Producción Hidráulica UPH Noroeste de Endesa Generación, se diseñaron y ejecutaron distintas estrategias de salvaguarda piscícola en canales, cámaras de carga, cuencos de amortiguación y balsas de acumulación.

El trabajo previo de gabinete, así como el diseño de las estrategias de captura a seguir en cada uno de los casos, permitió que el equipo técnico dispusiera de la información necesaria para que las pescas se desarrollasen con la mayor efectividad posible y con el menor impacto sobre la ictiofauna, traduciéndose en un total de 3.598 ejemplares rescatados y una supervivencia del 97%.

El presente trabajo resume las principales actuaciones desarrolladas, las técnicas empleadas y los resultados cuantitativos de las mismas.

### Introducción:

Es habitual que las diferentes infraestructuras de las centrales hidráulicas sean colonizadas por especies piscícolas. Su presencia supone un factor ambiental a tener en cuenta durante las labores de mantenimiento en dichas infraestructuras ya que es posible que la fauna íctica corra riesgos si no se establecen las medidas preventivas adecuadas y se diseñen estrategias de salvaguarda específicas, en función de las características de cada una de las instalaciones.

En el año 2020, debido a la problemática asociada en las labores de mantenimiento de diversas infraestructuras de centrales hidráulicas pertenecientes a la Unidad de Producción Hidráulica UPH Noroeste de Endesa Generación (canales, cámaras de carga, cuencos de amortiguación y balsas de acumulación; Figura 1), se diseñaron diferentes medidas preventivas y se llevaron a cabo diversas estrategias de salvaguarda piscícola, con el fin de minimizar las posibles afecciones sobre la ictiofauna presente.

El objetivo del presente trabajo es exponer los resultados de las salvaguardas piscícolas realizadas, con el fin de valorar las diferentes estrategias de captura diseñadas, previamente a la ejecución de los trabajos, en función de las características y necesidades específicas de cada una de las instalaciones.



Figura 1. Imágenes de diferentes infraestructuras sobre las que se desarrolló la salvaguarda piscícola en el año 2020.

## Material y Métodos:

### 1. Trabajo de gabinete

Previamente a la realización de las diferentes salvaguardas, se llevó a cabo el análisis de las características principales de cada instalación (longitud, salidas de fácil acceso para el transporte de los peces, etc.), lo que permitió determinar el personal necesario, definir la estrategia de pesca más adecuada y qué sistema de transporte y mantenimiento de ejemplares se debía utilizar.

En el caso de la balsa de Mandeo, se realizó un estudio batimétrico previo y se analizaron aquellas áreas susceptibles de quedar primero en emersión, con el fin de definir el plan de actuación a seguir durante el vaciado (Figura 2.).

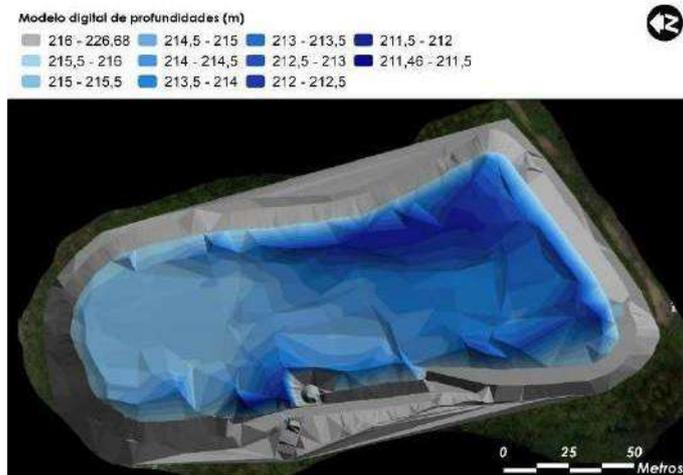


Figura 2. Batimetría de la Balsa de Mandeo.

### 2. Procedimiento de captura

Las capturas se realizaron mediante **pesca manual** empleando cubos y salabres cuando las condiciones de la lámina de agua así lo permitían (Figura 3: A, B).

En el resto de situaciones, se utilizaron técnicas de **pesca eléctrica** (Figura 3: C, D, E, F). Este método se basa en la creación de un campo eléctrico, que modifica el comportamiento del pez causando

electrotaxis (natación obligada), electrotétano (contracción muscular) y electronarcosis (relajación muscular), lo cual facilita su captura.

En función de la instalación, la **pesca eléctrica** se desarrolló **a pie** (canales y cámara de carga) o **desde embarcación** (Figura 3: G, H, I; balsa de acumulación).

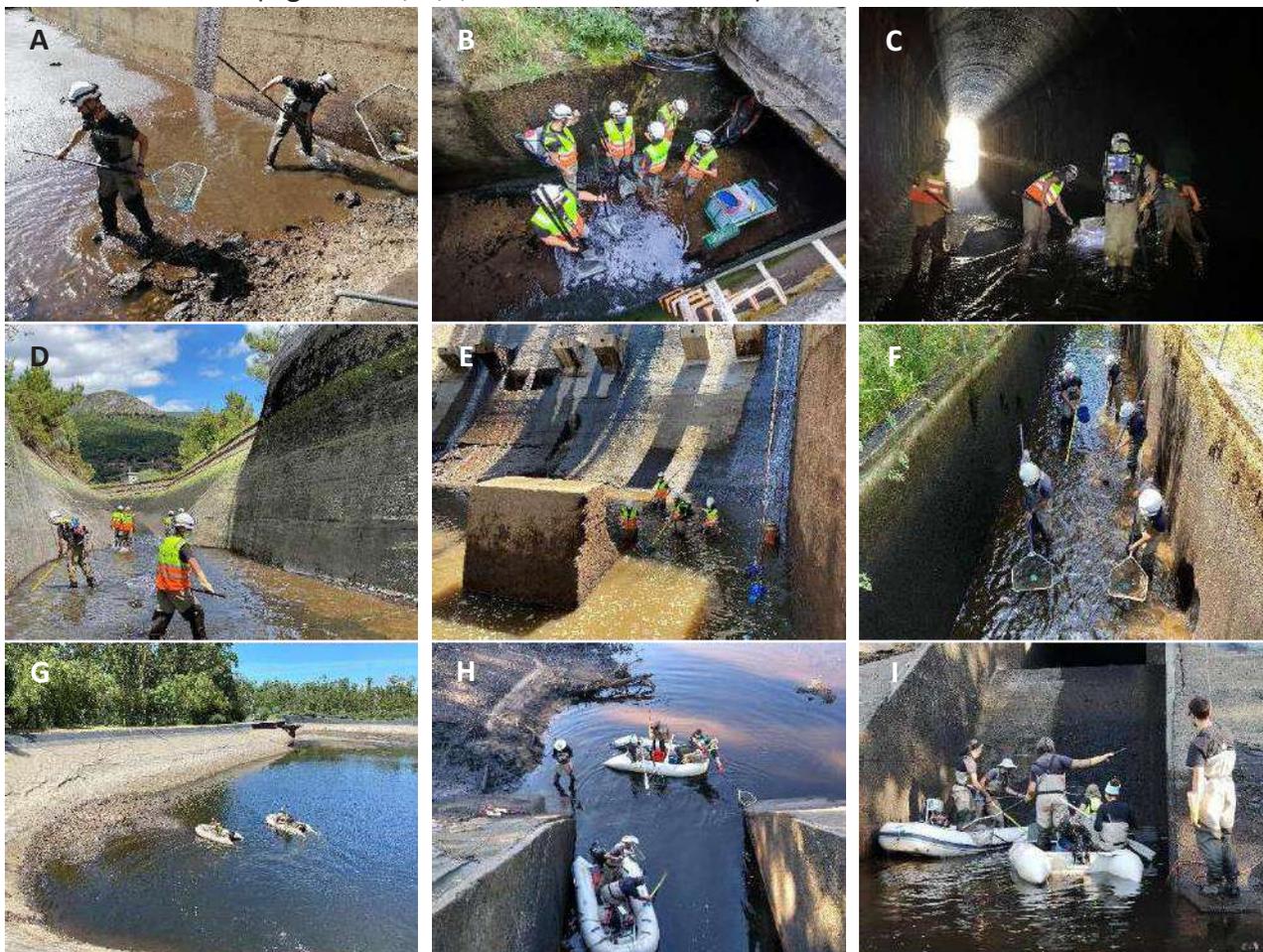


Figura 3. Imágenes del proceso de captura.

Para la captura, recogida y tratamiento de datos relativos a peces se siguió el “Protocolo de muestreo de fauna ictiológica en ríos” desarrollado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (ML-R-FI-2015)(1).

### 3. Mantenimiento, transporte y suelta

Los individuos se mantuvieron a lo largo del canal mediante un remolque provisto de 4 recipientes de plástico de 60 litros y dotado de un sistema de oxigenación por bombona (Figura 4: A, B). Teniendo en cuenta que un litro de agua con aporte de oxígeno puede contener aproximadamente 300 gramos de truchas en buenas condiciones y que cada recipiente podía llevar 50 litros de agua de forma segura, el remolque admitía transportar con garantías de supervivencia un total de 60 kg de truchas(2).

En caso de que la infraestructura lo permitiese se introdujo un vehículo (Figura 4C) dotado de una cuba móvil de una capacidad de 600 litros (Figura 4: D, E), debidamente acondicionada con agua limpia, difusor de oxígeno y control de temperatura.

Dicha cuba se empleó también para el traslado de los peces hasta el punto de suelta, en donde los ejemplares se cuantificaron, identificaron y se traspasaron a cubos para su posterior liberación (Figura 4: F, G, H, I).

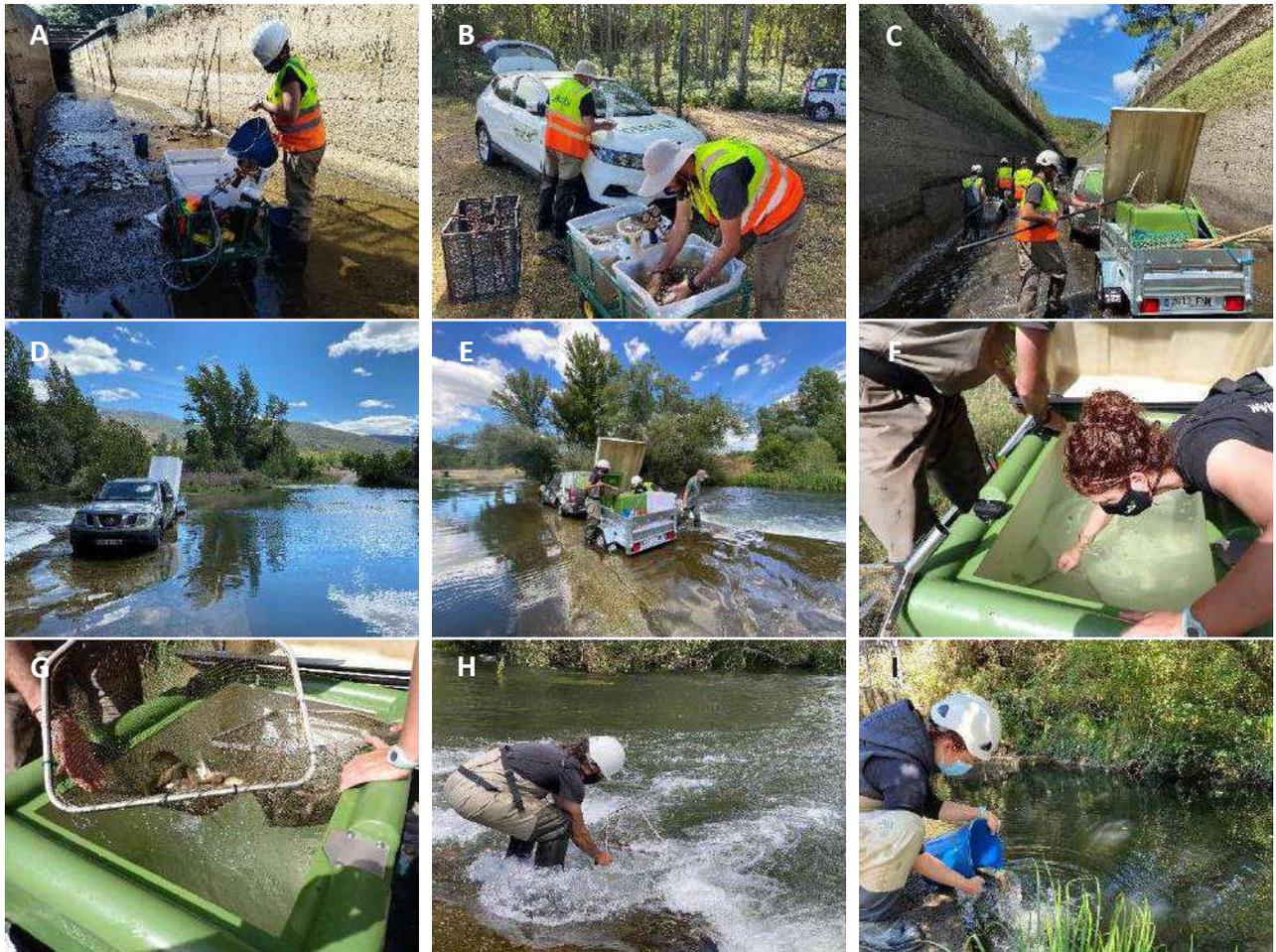


Figura 4. Imágenes del proceso de mantenimiento, transporte y suelta.

### Resultados:

En el año 2020, se capturaron un total de 3.598 ejemplares pertenecientes a 7 especies en las diferentes instalaciones.

Tipo Instalación	Nombre	Especie							Total, capturas por instalación
		Trucha común ( <i>Salmo trutta</i> )	Boga ( <i>Pseudochondrostoma duriense</i> )	Gobio ( <i>Gobio lozanoi</i> )	Percasol ( <i>Lepomis gibbosus</i> )	Barbo ( <i>Barbus barbus</i> )	Trucha arcoíris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> )	Anguila ( <i>Anguilla anguilla</i> )	
Canal+azud	Bembibre	765	26	-	-	-	1	-	792
Canal	Cornatel	14	15	-	-	-	-	-	29
	Castellana	19	-	-	-	-	-	-	19
	Quereño	443	390	2	2	-	-	-	837
	Rioscuro	121	-	-	-	-	-	-	121
	Peñadrada	122	151	-	-	-	-	-	273
	Santa Marina	106	1	-	-	-	-	-	107
Cuenca de amortiguación	Montearenas	52	-	-	-	1	-	-	53
Balsa de Acumulación	Mandeo	206	1.160	-	-	-	-	1	1.367
<b>TOTAL, POR ESPECIE</b>		<b>1.848</b>	<b>1.743</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>-</b>
<b>TOTAL, CAPTURAS</b>									<b>3.598</b>

Tabla 1. Número de ejemplares capturados en cada una de las instalaciones.



Figura 5. Imágenes de las especies capturadas.

El mayor número de capturas se registraron en la balsa de acumulación de Mandeo, azud y canal de Bembibre y canal de Quereño, alcanzando un total de 2.996 individuos, lo que supuso el 83% de las capturas efectuadas.

Las especies mayoritarias fueron la trucha común (*Salmo trutta*) y la boga (*Pseudochondrostoma duriense*). La estructura de clases de edad para ambas especies muestra patrones similares con una mayor representación de la clase adulta y subadulta, siendo el grupo alevín la clase minoritaria.

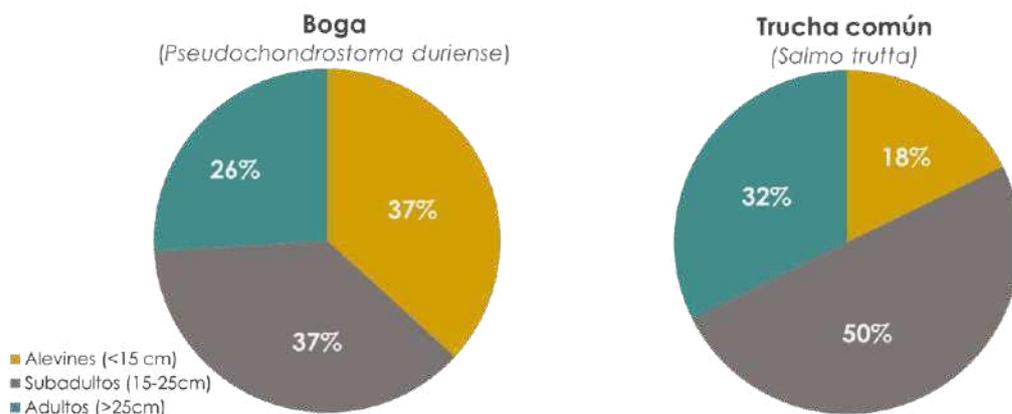


Figura 6. Distribución por clases de edad de especies mayoritarias.

La tasa de supervivencia del total de capturas en las diferentes infraestructuras de centrales hidráulicas pertenecientes a la Unidad de Producción Hidráulica UPH Noroeste de Endesa Generación durante el año 2020, fue del 97%.

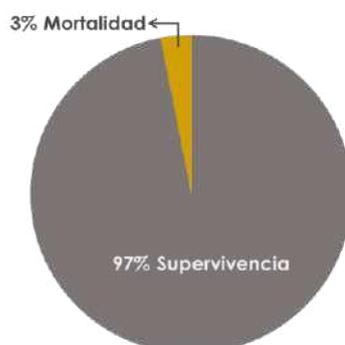


Figura 7. Supervivencia y mortalidad.

### Discusión y Conclusiones:

Durante el año 2020, se llevó a cabo la salvaguarda ictiológica en 6 canales de derivación, 1 cámara de carga, 1 cuenco de amortiguación y un balsa de acumulación, todas ellas infraestructuras de diferentes centrales hidroeléctricas pertenecientes a la UPH NOROESTE de Endesa Generación.

En base a los resultados obtenidos se puede concluir que, las medidas preventivas y el diseño específico de las diferentes estrategias de salvaguarda piscícola en función de las características y necesidades de las diversas instalaciones de las centrales hidroeléctricas, permitieron la salvación y devolución en condiciones óptimas de un total de 3.489 ejemplares, lo que supuso el 97 % de supervivencia de los ejemplares capturados.

Esta alta supervivencia pone de manifiesto que un correcto diseño previo y una planificación consensuada y adecuada fueron pasos críticos para conseguir unos resultados óptimos en la ejecución de los trabajos.

**Referencias / Bibliografía:**

- (1) Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (ML-R-FI-2015), 2015, *Protocolo de muestreo de fauna ictiológica en ríos*. 21 páginas.
- (2) CJ Shepherd, NR Bromage (1988). *Intensive Fish Farming*. BSP Professional books. Blackwell Scientific. Oxford. 420 páginas.

## ANÁLISIS DEL POTENCIAL ECOLÓGICO DE EMBALSES Y SU IMPORTANCIA EN LA DETERMINACIÓN DEL ESTADO BÁSICO DE TIPO DINÁMICO COMO MEDIDA DE GESTIÓN

Villazán Peñalosa, B<sup>1</sup>; Cordón Ezquerro, J<sup>1</sup>; Escudero Marina, A<sup>1</sup>; Montes Cabreo, E<sup>1</sup>; Toraño Valle, C<sup>1</sup>; Fernández González, E<sup>2</sup>, Granero Castro, J<sup>1</sup>

<sup>1</sup>TAXUS MEDIO AMBIENTE, [bvillazan@taxusmedioambiente.com](mailto:bvillazan@taxusmedioambiente.com), Oviedo – Asturias

<sup>2</sup>EDP ESPAÑA S.A.U., Oviedo – Asturias

**Palabras clave:** Fitoplancton; Potencial Ecológico; Estado Básico de Tipo Dinámico; Embalses; Ley de Responsabilidad Medioambiental; Directiva Marco del Agua.

### Resumen:

El marco normativo para la gestión del agua, tiene como objetivo principal alcanzar el buen estado de las masas de agua. En el caso de los embalses, masas muy modificadas, propone como único elemento a considerar la composición y abundancia del fitoplancton, caracterizándose éste por su gran variabilidad ante diferentes condiciones ambientales y presentando en muchos casos un comportamiento estocástico.

Este comportamiento cobra importancia en el marco de la Ley 26/2007 de Responsabilidad Medioambiental y el R.D. 2090/2008, y en el establecimiento del estado básico de tipo dinámico.

El presente trabajo expone los resultados del análisis del Índice de Potencial Ecológico de 12 embalses localizados en Asturias, durante el periodo comprendido entre 2012 y 2020.

### Introducción:

La Directiva Marco del Agua (DMA) (1) y el RD 817/2015 (2) proponen como único elemento para evaluar el potencial ecológico, la composición y abundancia del fitoplancton. Dichos organismos se caracterizan por su gran variabilidad ante diferentes condiciones ambientales, mostrando en muchos casos un comportamiento estocástico (3).

Este comportamiento cobra importancia al definirse el término de “estado básico de tipo dinámico”, en la Ley 26/2007 de Responsabilidad Medioambiental (4) y el R.D. 2090/2008 (5), al obligar al promotor de una actividad a que en caso de accidente deba revertir las condiciones del medio al estado que resultaría de no haberse producido la afección, considerando que dicho estado puede variar a lo largo del tiempo y en base a la mejor información disponible.

El objetivo del presente trabajo es analizar la variabilidad observada en el índice de potencial ecológico determinado en base al elemento biológico fitoplancton y su implicación sobre el estado básico de tipo dinámico en 12 embalses, localizados en Asturias, estudiados con carácter estacional durante el periodo 2012-2020.

### Material y Métodos:

#### 1. Trabajo de campo

En el periodo comprendido entre 2012 y 2020, a razón de dos campañas anuales, se realizó la determinación del índice de potencial ecológico de 12 embalses, ubicados en la Cuenca Hidrográfica del Cantábrico Occidental.

El trabajo de campo sigue de forma rigurosa las pautas establecidas en el protocolo de muestreo de fitoplancton para lagos y embalses (M-LE-FP-2013) (6), publicado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

La única excepción realizada con respecto al citado protocolo fue la periodicidad de los muestreos, realizándose de forma alterna durante el periodo 2012-2020 (primavera-otoño y verano-invierno), con el fin de estudiar la variabilidad estacional del potencial ecológico a lo largo del periodo citado con anterioridad (2012-2020).

A continuación, se muestra una serie de fotografías durante el desarrollo de los muestreos realizados (Figura 1):

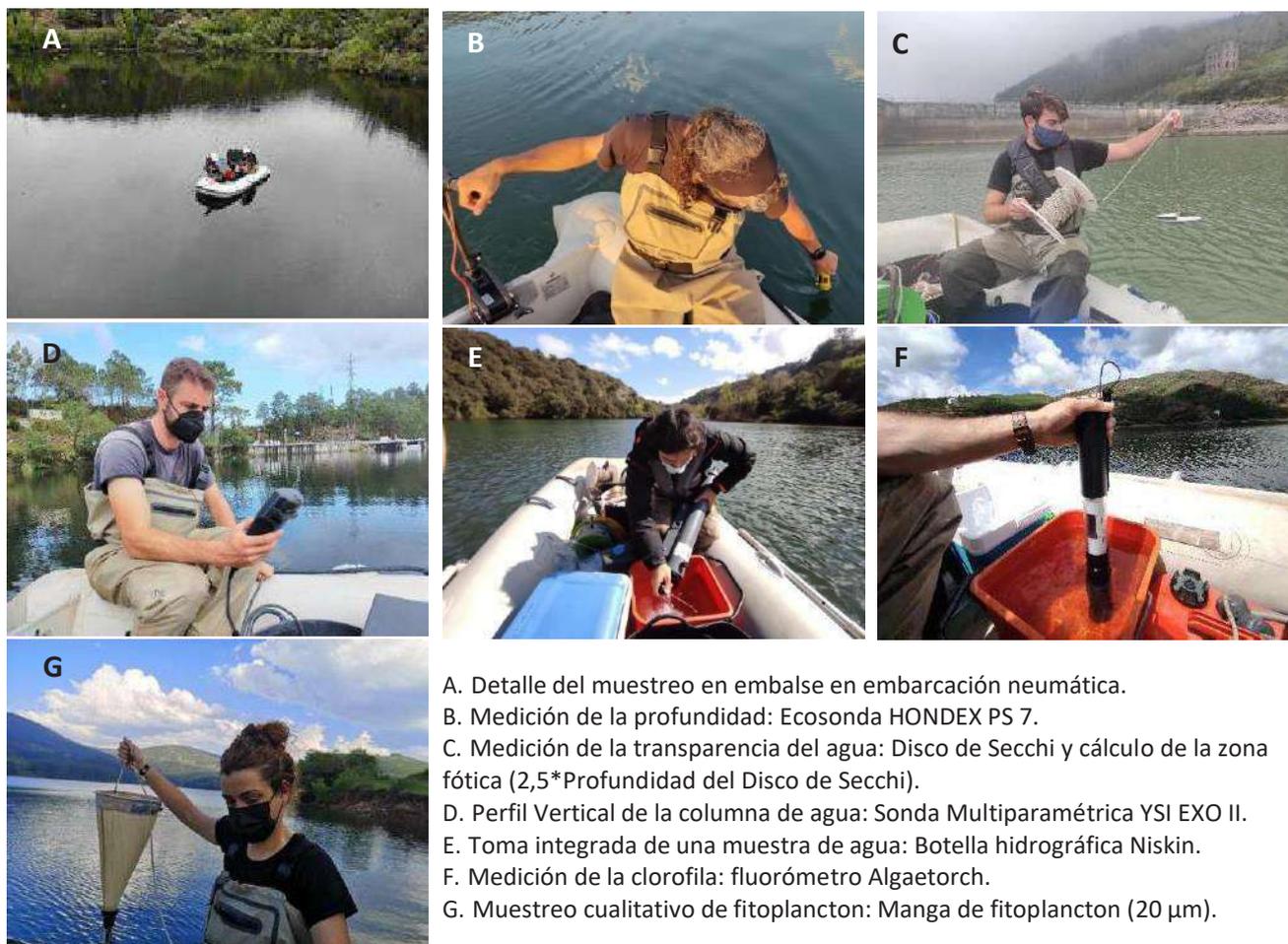
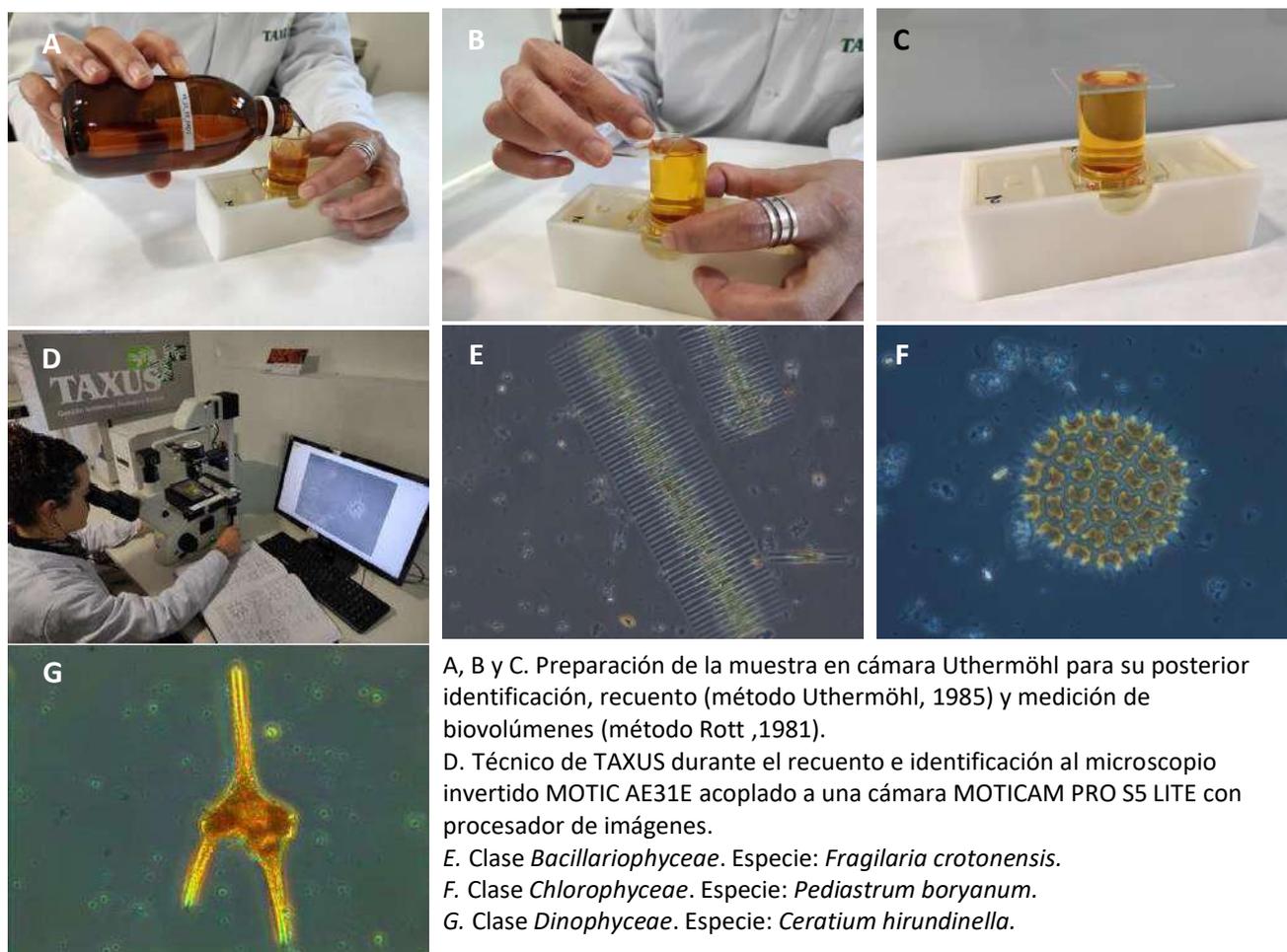


Figura 1. Imágenes descriptivas del procedimiento de muestreo en embalses.

## 2. Trabajo de laboratorio

El proceso de identificación, recuento y determinación se llevó a cabo en laboratorio mediante un microscopio invertido, siguiendo el protocolo de análisis y cálculo de métricas de fitoplancton en lagos y embalses (7), publicado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, y basado en la técnica descrita por Uthermöhl (8) (Figura 2).



A, B y C. Preparación de la muestra en cámara Uthermöhler para su posterior identificación, recuento (método Uthermöhler, 1985) y medición de biovolúmenes (método Rott, 1981).  
 D. Técnico de TAXUS durante el recuento e identificación al microscopio invertido MOTIC AE31E acoplado a una cámara MOTICAM PRO S5 LITE con procesador de imágenes.  
 E. Clase *Bacillariophyceae*. Especie: *Fragilaria crotonensis*.  
 F. Clase *Chlorophyceae*. Especie: *Pediastrum boryanum*.  
 G. Clase *Dinophyceae*. Especie: *Ceratum hirundinella*.

Figura 2. Imágenes durante el procedimiento del análisis de fitoplancton en laboratorio.

### 3. Determinación del potencial ecológico

El potencial ecológico es una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a una masa de agua artificial o muy modificada.

A continuación, se incluyen los indicadores para la determinación del índice de potencial ecológico en embalses, todos ellos basados en el elemento de calidad biológico fitoplancton (Tabla 1).

Tipo	Elemento de calidad	Indicador	
Biológico	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila a
			Biovolumen
		Composición	Índice de Grupos Algales (IGA)
			Porcentaje de cianobacterias

Tabla 1. Elementos de calidad e indicadores para el cálculo del Potencial Ecológico en masas de agua muy modificadas asimilables a lagos. Fuente: RD 817/2015.

Una vez obtenidos los diferentes indicadores, se llevó a cabo el cálculo del índice de potencial ecológico (en adelante IPE) para cada una de las tipologías de los embalses analizados, según lo establecido en el protocolo de análisis y cálculo de métricas de fitoplancton en lagos y embalses (7).

Posteriormente, se procedió a la catalogación del indicador IPE, en base a las recomendaciones establecidas en la Instrucción de Planificación Hidrológica (9) (Tabla 2)

Parámetro	Clase de Potencial Ecológico				
	Máximo	Bueno	Moderado	Deficiente	Malo

Tabla 2. Límites de clase y catalogación correspondiente según el valor obtenido para el Índice de Potencial Ecológico (IPE).

### Resultados

Los resultados de los seguimientos ambientales, realizados en 12 embalses estacionalmente de forma alterna durante el periodo 2012-2020 (primavera-otoño y verano-invierno), se representan por tipología y estación, estando englobados los embalses estudiados en las siguientes tipologías:

- ET-03: Monomíctico, silíceo de zonas húmedas, pertenecientes a ríos de la red principal.
- ET-07: Monomíctico, calcáreo de zonas húmedas, con temperatura media anual menor de 15°C, pertenecientes a ríos de cabecera y tramos altos.
- ET-09: Monomíctico, calcáreo de zonas húmedas, pertenecientes a ríos de la red principal.
- ET-13: Dimíctico.

En primer lugar, se muestran los resultados para cada uno de los indicadores analizados (clorofila a, biovolumen, índice de potencial ecológico (IGA) y porcentaje de cianobacteria) (Figura 3).

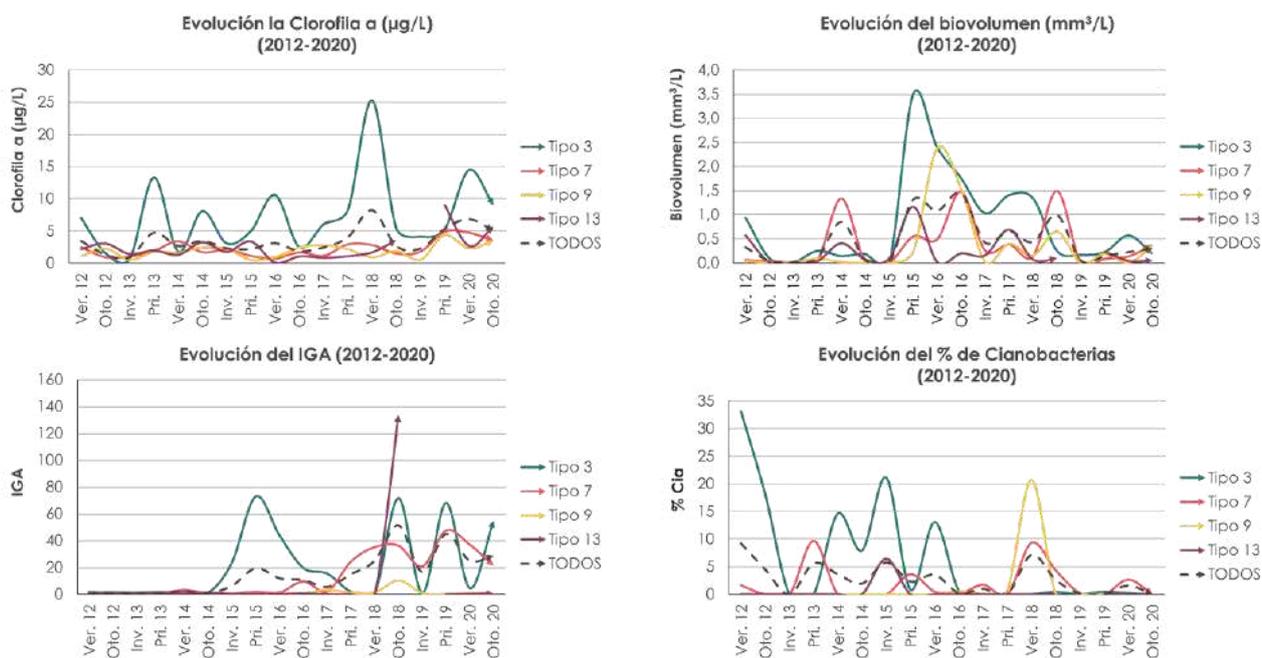


Figura 3. Representación gráfica de los indicadores de biomasa (clorofila a y biovolumen; fila superior) y composición (IGA y porcentaje de cianobacterias, fila inferior) durante el periodo 2012-2020.

Los resultados obtenidos muestran como los indicadores biológicos presentan una tendencia general con valores más elevados durante la primavera y el verano. Sin embargo, este patrón no

es constante durante las diferentes campañas, pudiendo registrarse máximos en estaciones diferentes.

Además, se observa como los valores más elevados de los diferentes indicadores biológicos se registran en los embalses de tipología 3, los cuales se caracterizan por presentar una mayor profundidad y tamaño.

A continuación, se representa el índice de potencial ecológico para cada una de las tipologías y estación, durante el periodo de muestreo 2012-2020. Asimismo, los valores obtenidos del cálculo del IPE para cada uno de los embalses y estación, se resume en la Tabla 3:

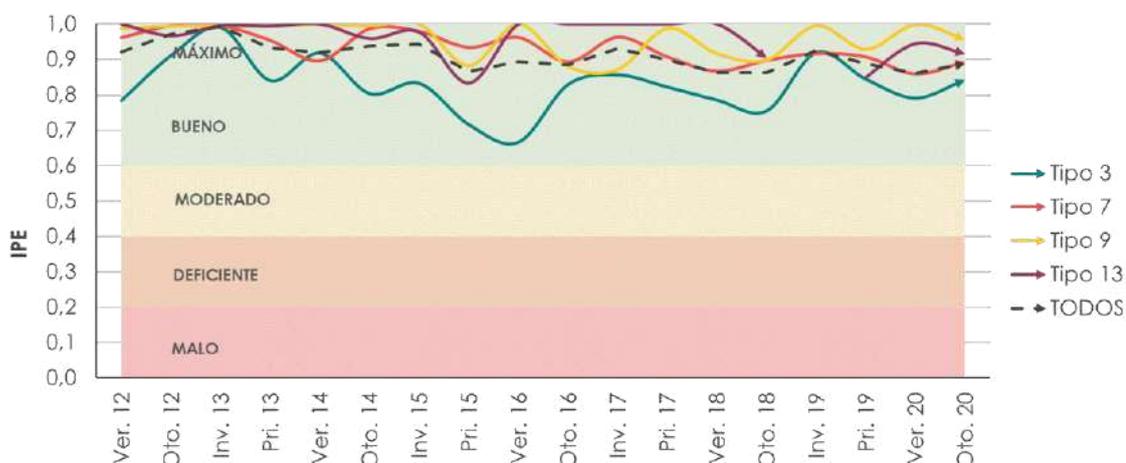


Figura 4. Representación gráfica del índice de potencial ecológico por tipología y estación durante el periodo 2012-2020.

Año	Estación	3				7						9		13											
		La Barca	Pilotuerto	Salime	Rioseco	Tanes	Prañes	Valdemurio	Saliencia	Somiedo	Valle I	Furacón	Valle II												
2012	Ver.	0,50	Def.	0,99	Max.	0,86	Max.	0,99	Max.	0,95	Max.	0,99	Max.	0,85	Max.	0,98	Max.	0,98	Max.	0,99	Max.	1,00	Max.	1,00	Max.
	Oto.	0,94	Max.	0,99	Max.	0,80	Bue.	0,99	Max.	0,99	Max.	1,00	Max.	1,00	Max.	1,00	Max.	1,00	Max.	0,99	Max.	0,99	Max.	0,97	Max.
2013	Inv.	0,99	Max.	0,99	Max.	0,99	Max.	1,00	Max.	1,00	Max.	1,00	Max.	1,00	Max.	1,00	Max.	0,99	Max.	0,99	Max.	1,00	Max.	1,00	Max.
	Pri.	0,86	Max.	0,99	Max.	0,67	Bue.	0,99	Max.	0,91	Max.	0,99	Max.	1,00	Max.	1,00	Max.	0,81	Max.	0,98	Max.	1,00	Max.	0,99	Max.
2014	Ver.	0,79	Bue.	1,00	Max.	0,97	Max.	0,90	Max.	0,90	Max.	1,00	Max.	0,91	Max.	1,00	Max.	1,00	Max.	0,56	Mod.	1,00	Max.	1,00	Max.
	Oto.	0,70	Bue.	0,99	Max.	0,72	Bue.	0,94	Max.	0,99	Max.	1,00	Max.	0,99	Max.	1,00	Max.	1,00	Max.	1,00	Max.	1,00	Max.	0,96	Max.
2015	Inv.	0,75	Bue.	0,94	Max.	0,81	Max.	0,96	Max.	0,98	Max.	1,00	Max.	0,96	Max.	0,99	Max.	1,00	Max.	0,98	Max.	1,00	Max.	0,98	Max.
	Pri.	0,60	Bue.	0,97	Max.	0,58	Mod.	0,86	Max.	0,78	Bue.	1,00	Max.	0,91	Max.	0,99	Max.	0,92	Max.	0,98	Max.	0,88	Max.	0,83	Max.
2016	Ver.	0,37	Def.	0,98	Max.	0,65	Bue.	0,85	Max.	0,92	Max.	1,00	Max.	1,00	Max.	1,00	Max.	1,00	Max.	0,96	Max.	1,00	Max.	1,00	Max.
	Oto.	0,63	Bue.	0,97	Max.	0,89	Max.	0,70	Bue.	0,60	Bue.	0,96	Max.	1,00	Max.	1,00	Max.	1,00	Max.	1,00	Max.	0,88	Max.	1,00	Max.
2017	Inv.	1,00	Max.	1,00	Max.	0,58	Mod.	1,00	Max.	0,96	Max.	0,94	Max.	0,99	Max.	0,93	Max.	0,97	Max.	0,95	Max.	0,87	Max.	1,00	Max.
	Pri.	0,75	Bue.	0,99	Max.	0,73	Bue.	0,64	Bue.	0,86	Max.	1,00	Max.	0,91	Max.	1,00	Max.	0,95	Max.	0,99	Max.	0,99	Max.	1,00	Max.
2018	Ver.	0,63	Bue.	1,00	Max.	0,73	Bue.	0,78	Bue.	0,60	Bue.	0,97	Max.	0,93	Max.	1,00	Max.	0,92	Max.	0,87	Max.	0,92	Max.	1,00	Max.
	Oto.	0,76	Bue.	0,90	Max.	0,61	Bue.	0,99	Max.	0,81	Max.	0,92	Max.	0,86	Max.	0,96	Max.	0,90	Max.	0,85	Max.	0,90	Max.	0,90	Max.
2019	Inv.	1,00	Max.	0,98	Max.	0,78	Bue.	0,90	Max.	1,00	Max.	0,86	Max.	0,99	Max.	0,92	Max.	0,88	Max.	0,86	Max.	1,00	Max.	-	Max.
	Pri.	0,73	Bue.	1,00	Max.	0,80	Bue.	0,85	Max.	0,71	Bue.	1,00	Max.	0,79	Bue.	1,00	Max.	1,00	Max.	1,00	Max.	0,93	Max.	0,95	Max.
2020	Ver.	0,72	Bue.	0,96	Max.	0,69	Bue.	0,69	Bue.	0,65	Bue.	1,00	Max.	0,94	Max.	0,88	Max.	0,97	Max.	0,89	Max.	1,00	Max.	0,95	Max.
	Oto.	0,93	Max.	0,92	Max.	0,68	Bue.	0,68	Bue.	0,68	Bue.	1,00	Max.	0,91	Max.	1,00	Max.	1,00	Max.	1,00	Max.	0,96	Max.	0,92	Max.

Tabla 3. Índice de potencial ecológico para cada uno de los embalses y estación durante el periodo 2012-2020 (Mod. Moderado; Bue. Bueno; Max. Máximo).

El potencial ecológico durante el periodo 2012-2020 se desvía del bueno en 4 ocasiones, siendo deficiente en el embalse de La Barca durante el verano de 2012 y de 2016, moderado en Salime en invierno de 2017 y moderado en Valle I en el verano de 2014. El resto de los embalses presentan potenciales buenos y máximos durante el periodo muestreado.

### Discusión y Conclusiones:

En base a los resultados obtenidos, se observa como la comunidad de fitoplancton presenta variabilidad en función del periodo de muestreo y la tipología del embalse, con mayores oscilaciones en primavera y verano. Esta tendencia concuerda con el ciclo teórico del fitoplancton en zonas templadas (3), el cual describe proliferaciones de fitoplancton durante periodos primaverales y estivales al darse las condiciones óptimas para el crecimiento y desarrollo de esta comunidad.

Sin embargo, también se observan desviaciones del buen potencial ecológico o altos valores de los indicadores biológicos en otras estaciones, como en el caso del embalse de Salime cuyo potencial se cataloga como moderado en invierno de 2017 o el elevado valor del índice IGA registrado en el embalse de Valle II (tipología 13) durante el otoño de 2018.

Dada la variabilidad asociada al elemento de calidad biológica fitoplancton y considerando que la fórmula empleada para calcular el IPE, en la actualidad, parece enmascarar los estados tróficos calculados de forma tradicional, se puede decir que muestran un comportamiento mucho más variable (11). Se evidencia la necesidad de realizar un seguimiento anual completo para definir un estado básico de tipo dinámico más preciso para cada masa de agua, lo que permitirá disponer de la información adecuada en el supuesto de que exista un cambio normativo que implique una modificación de la fórmula de cálculo del IPE o bien se produzca un daño ambiental, para de esta forma poder implementar las medidas de gestión adecuadas en cada uno de los casos.

### Referencias / Bibliografía:

(1) Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Traspuesta al ordenamiento jurídico español a través de la Ley 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y de orden social; y modificada por la Directiva 2008/32/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de marzo de 2008, que modifica la Directiva 2000/60/CE por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, por lo que se refiere a las competencias de ejecución atribuidas a la Comisión.

(2) Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental.

(3) Reynolds CS. (2006). *The ecology of phytoplankton*. Cambridge University Press. 551 pp.

(4) Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental.

(5) Real Decreto 2090 /2008, de 22 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental.

(6) Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, 2013, *Organismos fitoplanctónicos en lagos y embalses. Protocolo de muestreo de fitoplancton en lagos y embalses* (M-LE-FP-2013). 18 páginas.

(7) Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, 2013, Organismos fitoplanctónicos en lagos y embalses, Protocolo de análisis y cálculo de métricas de fitoplancton en lagos y embalses (MFIT-2013). 28 páginas.

(8) Utermohl, H. 1958. Zur Vervollkommung der Quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitt. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol. 9:1-38.

(9) Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica.

(10) Granero Castro J, 2019, *El fitoplancton en el contexto de la Directiva Marco del Agua: variabilidad de la comunidad, consideraciones sobre el índice de potencial ecológico (IPE) y nueva propuesta para embalses del norte de España*. Tesis Doctoral. Universidad de León. 313 páginas.

**BLOQUE 4**  
**Transición Energética y Cambio Climático**

## INTEGRACIÓN AMBIENTAL DE PLANTAS FOTOVOLTAICAS EN EL TERRITORIO I. SUELO

Andrés Abellán, M.<sup>1</sup>; Picazo Córdoba, M.I.<sup>1</sup>; García Saucedo, F.<sup>1</sup>; García Morote, F.A.<sup>1</sup>; Rubio Caballero, E.M.<sup>2</sup>; Wic Baena, C.<sup>3</sup>; López Serrano, F.R.<sup>4</sup>

1. ETSIAM- Universidad de Castilla-La Mancha, [Manuela.Andres@uclm.es](mailto:Manuela.Andres@uclm.es), Albacete, España
2. ETSII- Universidad de Castilla-La Mancha, Albacete, España
3. Funcionaria de la JCCLM, Albacete, España
4. ETSIAM-Universidad de Castilla-La Mancha, Albacete, España

**Palabras clave:** Plantas Fotovoltaicas; Biodiversidad; Suelo.

### Resumen:

Ante la gran cantidad de información, estudios y trabajos relativos a los impactos y efectos negativos que las plantas solares fotovoltaicas tienen sobre el territorio, desde la Universidad de Castilla-La Mancha, en colaboración con el Instituto de Energías Renovables (I.E.R.) de Albacete, se presenta un “Informe sobre impactos ambientales asociados a la construcción de plantas solares fotovoltaicas en la Mancha”. En este documento se detallan las conclusiones de un estudio piloto realizado sobre una planta fotovoltaica situada en la localidad de El Bonillo (Albacete), y que trata sobre la identificación y análisis de impactos positivos que estas infraestructuras tienen sobre el suelo, la fauna y la flora, así como propuestas y recomendaciones de mejora para la biodiversidad en todos estos ámbitos. En este caso, se presentan las conclusiones obtenidas en cuanto al suelo se refiere, así como una descripción de los procedimientos y metodología de estudio que se ha llevado a cabo para la realización de este informe.

### Introducción:

Estando ampliamente difundido el impacto negativo que la construcción y el funcionamiento de una planta solar fotovoltaica causa en el medio ambiente, escasean las iniciativas para estudiar si existen a su vez efectos positivos que puedan llegar a ser causados por este tipo de instalaciones. Es por ello, que desde la Universidad de Castilla-La Mancha, en colaboración con el Instituto de Energías Renovables de Albacete se ha elaborado un documento que discute y detalla un estudio pionero; titulado “Informe sobre impactos ambientales asociados a la construcción de plantas solares fotovoltaicas en la Mancha” en el cual se muestran los resultados, las conclusiones y las propuestas relacionadas con el estudio del medioambiente llevado a cabo en el ámbito de estudio de los agrosistemas de Castilla-La Mancha.

En esta primera parte se tratan aquellos aspectos relativos al suelo, que como sabemos es un espacio heterogéneo definido por una serie de propiedades físicas, químicas y biológicas, que bajo condiciones naturales tienden a desarrollar un equilibrio dinámico. Al estar compuesto por varias fracciones (orgánica, mineral, agua, etc...) que además interactúan entre sí, la calidad del suelo se

ve afectada, sobre todo la microbiota. Estos microorganismos intervienen en procesos clave y su importancia radica en el hecho de que son indicadores de impactos y de la propia calidad del suelo, al ser muy sensibles a los cambios del medio.

Por ello la instalación de una planta solar fotovoltaica puede modificar las condiciones iniciales de un uso agrícola y forestal en una zona. No obstante, el suelo, como sistema vivo y dinámico que es, puede recuperarse al ser capaz de adaptarse a las nuevas condiciones, manteniendo el equilibrio entre las diferentes fracciones que lo integran, especialmente entre los organismos vivos, la materia orgánica y la materia mineral (1).

Como objetivos principales de esta parte del informe se pretende estudiar el efecto de la presencia de la instalación fotovoltaica en dos periodos estacionales diferentes (2013 y 2021), así como conocer la correlación existente entre los diferentes parámetros estudiados en suelos de sistemas agrarios y forestales de La Mancha, para poder establecer un modelo espacio-tiempo de calidad y manejo de suelo.

### **Material y Métodos:**

La medición de los parámetros se realiza en seis unidades principales de muestreo de 250 x 250m situadas en una planta solar fotovoltaica de 20MW al oeste de la Provincia de Albacete (Castilla-La Mancha). Tres unidades se fijan dentro de la planta solar fotovoltaica y tres fuera, en los alrededores de la instalación. En cada unidad de muestreo se establecen 3 estaciones de muestreo, de cada una de las cuales se obtienen 2 muestras, compuestas a su vez de 6 submuestras aleatorias tomadas en 2 periodos, conformando un total de 96 datos de muestreo.

A su vez, se han contemplado diferentes escenarios según el tipo de cubierta y uso de suelo, tanto dentro de la instalación como fuera. Dentro de la instalación se han diferenciado tres localizaciones; bajo seguidor solar, entre paneles solares con cubierta de herbáceas y entre paneles solares con cubierta de herbáceas y arbustivas. Fuera de la instalación se han contemplado tres tipos de cubiertas diferenciadoras y dominantes en los entornos agrarios manchegos; agrícola herbáceo, agrícola leñoso y forestal monte bajo.

Los indicadores que se han tomado como referencia para la obtención de resultados se dividieron en indicadores físicos, químicos, microbiológicos y combinados. En los indicadores físicos se midió: pedregosidad superficial y suelo desnudo (%), compactación de suelo (medida mediante cilindros de densidad) y humedad gravimétrica (%). En el caso de los indicadores químicos fueron medidos; el pH y la conductividad eléctrica (CE) (pH-meter y conductímetro), el carbono orgánico total (Corg.total) (mediante el método Walkley-Black) (2), la materia orgánica (MO) (según el Coeficiente de Waksman), el fósforo (P) (por el método Olsen et al.,1954) (3) y el nitrógeno total (N) (siguiendo el método Kjeldahl, modificado por Bremner, 1965) (4). Con respecto a los indicadores microbiológicos se midió la actividad enzimática de la deshidrogenasa (AEDh) (por el método espectrofotométrico de Trevor et al. 1982 modificado por García et al. 1993), la respiración basal (RB) (mediante el método de incubación estática de Anderson, 1982) (5) y el carbono de la biomasa microbiana (CB) (método adaptado de Vance et al., 1987) (6).

Por último, los índices combinados usados son; el cociente metabólico ( $qCO_2 = RB/CB$ ), que se ha utilizado como un indicador de la adversidad de las condiciones ambientales (Llorente and Turrión, 2010) (7), y el cociente de mineralización ( $qmC = RB/Corg.total$ ), que se ha utilizado como indicador de la cantidad de carbono orgánico total que se ha mineralizado durante un periodo, quedando como reserva (Pinzari et al., 1999) (8).

### **Resultados:**

Al comparar y recopilar los resultados obtenidos en los escenarios que se tuvieron en cuenta en el informe, se puso de manifiesto que las primeras fases de la instalación de una planta solar fotovoltaica modifican las condiciones iniciales de uso agrícola de las zonas afectadas y el suelo debe adaptarse a esas nuevas condiciones. Para ello, intenta reorganizarse con objeto de mantener el equilibrio entre organismos vivos, la materia orgánica y la materia mineral, es decir, entre aquellas fracciones que lo integran.

Al inicio es frecuente que haya un aumento en la densidad del suelo y en los procesos respiratorios y descomponedores de los microorganismos. Al producirse compactaciones y movimientos de tierra, se pierden nutrientes y otros componentes del suelo, por lo que la actividad enzimática y la respiración basal aumentan porque los microorganismos del suelo intentan contrarrestar esta alteración inicial. Esta actividad microbiológica también puede explicarse debido a la pérdida de cobertura vegetal temporal o las explanaciones en el terreno.

Por ello, el cociente metabólico, que indica el nivel de estrés o de recuperación del suelo, también suele incrementarse por efecto inicial de la construcción de un parque solar (Andrés et al., 2015) (9).

Estos efectos de activación microbiológica a corto plazo que se corresponden con una alta tasa de respiración, permiten que poco a poco se vaya instalando una vegetación incipiente, que a su vez va equilibrando el aporte de materia orgánica, y estabilizando el suelo. La microbiota originada a partir de esta vegetación también contribuye a alcanzar el equilibrio de nutrientes en el suelo, pero a más largo plazo.

Los resultados obtenidos para los indicadores físicos mostraron que la compactación del suelo disminuyó del orden de  $0.2 \pm 0.02$  g/cm<sup>3</sup> y la densidad del suelo se recupera, manteniéndose similar entre el exterior y el interior de las instalaciones (sólo aparecieron diferencias significativas en el caso de suelos removidos de cultivo herbáceo), y alcanzando valores medios similares a la densidad de suelo natural forestal de monte bajo colindante. En el caso de la pedregosidad, ésta disminuyó en un 15% dentro de las instalaciones.

Los indicadores químicos mostraron que, con el tiempo, se incrementa ligeramente el pH (del orden de  $0,22 \pm 0,01$ ) a la vez que disminuye la conductividad eléctrica, CE (del orden de  $0,05 \pm 0,002$  dS/m), sin mostrarse diferencias significativas entre dentro y fuera de la planta.

El contenido de N se incrementa ligeramente en torno a  $0,06 \pm 0,02$  %, siendo también más acusado en los suelos forestales, mientras que el fósforo (P) evoluciona en el tiempo disminuyendo su valor (disminución de  $7 \pm 0,8$  ppm).

En el caso de los indicadores microbiológicos disminuye el carbono de la biomasa CB) y su actividad descomponedora se incrementa de forma significativa. Los microorganismos se activan dentro del parque para descomponer la materia orgánica disponible e incorporar nutrientes al suelo removido. Transcurridos más de 5 años, lo que se incrementa en el suelo son las colonias de microorganismos, aumentando el CB en un 78%, que a su vez duplica la tasa de RB y aumenta la AEDh en torno a  $0,03 \pm 0,001$  umoles/gh. No obstante, en estas fases posteriores, este aumento se produce de forma similar tanto dentro de las instalaciones como en los ecosistemas colindantes (Figura 1).

El cociente metabólico,  $qCO_2$ , es mayor en la instalación que en los alrededores a consecuencia de la alteración del suelo en las primeras fases tras la construcción. Sin embargo con el tiempo se uniformiza el valor tanto dentro como fuera de las instalaciones (no hay diferencias estadísticas significativas) y además se reduce en torno a  $0,11 \pm 0,01$  unidades. Lo que pone de manifiesto el nivel de recuperación y estabilidad del suelo.

Por el contrario, el cociente de mineralización,  $qmC$ , es similar dentro y fuera de la instalación en las primeras fases y transcurrido el tiempo se incrementa significativamente dentro de la instalación debido a la mineralización del C (incremento del orden de  $7 \pm 0,43$  unidades).

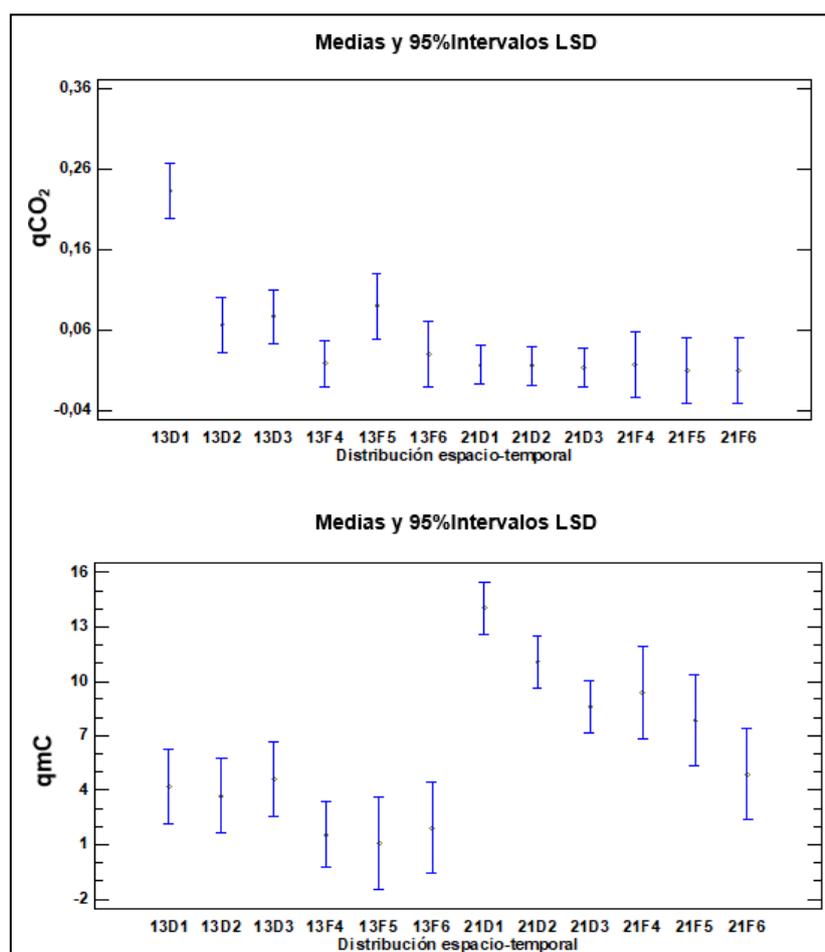


Figura 1. Valores medios de  $qCO_2$  ( $\mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{CB dia}^{-1}$ );  $qmC$  ( $\mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{COT dia}^{-1}$ ) dentro de la instalación, D: (1, bajo seguidor; 2, entre paneles cubierta herbácea; 3, entre paneles cubierta herbácea y arbustiva) y fuera, F: 4, agrícola herbáceo, 5, agrícola leñoso y 6, forestal; para los periodos 2013 y 2021.

**Discusión y Conclusiones:**

Tras analizar los sistemas propios que rodean a la planta fotovoltaica, tanto forestales como modificados, se pudo observar una distribución espacio-temporal bien definida por los indicadores de suelo que se analizaron.

En el primer año, tras la construcción de las instalaciones, se diferencian claramente dos estados diferentes en el suelo. En el primero de ellos se asemeja a aquellos presentes en suelos agrícolas tradicionales y suelos removidos, mientras que el otro pertenece a suelos más naturales, de tipo forestal. Al transcurrir 5 años de funcionamiento de la planta solar fotovoltaica, aparecen tres grupos de suelo diferentes y separados: los suelos agrícolas de cultivos herbáceos, que se corresponden a aquellos suelos mayormente alterados por la acción humana; los suelos dentro del vallado de la instalación y aquellos pertenecientes a cultivos leñosos de cubierta vegetal espontánea, que presentaron una calidad de suelo intermedia; y en el extremo, los suelos forestales que son los que en general presentan mayor calidad, ya que son suelos más naturales y por tanto se toman como referencia (Figura 2).

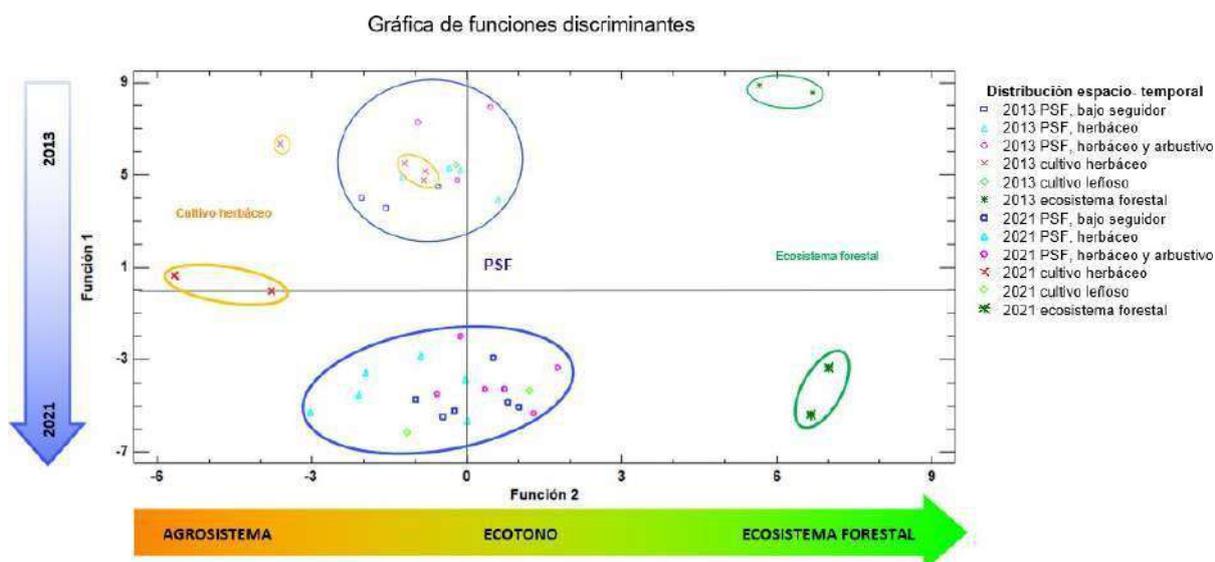


Figura 2. Distribución espacio temporal de las diferentes condiciones de cubiertas de suelo, D, dentro de PSF, planta solar fotovoltaica, (bajo seguidor, herbáceo, herbáceo y arbustivo) y F, fuera (cultivo herbáceo, cultivo leñoso y ecosistema forestal); y su evolución temporal desde el inicio de la instalación hasta transcurridos más de 5 años de su funcionamiento

Por último se comprueba, tras realizarse los análisis antes mencionados, que a medida que transcurre el tiempo, el suelo presente en la instalación (sobre todo aquel que se encuentra bajo los seguidores solares) evoluciona en la calidad del suelo que lo sitúa en un estado intermedio o de transición en cuanto a su biodiversidad entre los sistemas agrarios y los sistemas forestales. De forma similar a un ecotono, el suelo se diferencia claramente de las características y la calidad de los suelos presentes en las áreas de cultivos herbáceos y se aproxima a la que podríamos encontrar en otros sistemas naturales cuya estabilidad físico-química y microbiológica se corresponde con suelos de mayor calidad.

Ello se ve reflejado por ejemplo en un aumento de la permeabilidad del suelo, lo que favorece su funcionamiento hidráulico. Además, a medida que pasan los años, la cubierta vegetal incipiente va evolucionando en abundancia y diversidad de especies. Sobre todo aumentan las herbáceas, que aportan material vegetal fresco rico en nitrógeno (N), y más adelante también las arbustivas, que en el caso de las leguminosas fijan N en el suelo. Si a eso le sumamos el cese de la actividad agrícola en las instalaciones y alrededores más inmediatos, se terminan alcanzando valores similares a los ecosistemas naturales forestales, excepto en los terrenos de cultivos agrícolas herbáceos.

No existe la más mínima duda de que la mejor práctica para mejorar la biodiversidad en el suelo consiste en alterar lo mínimo posible las condiciones de éste una vez causado el impacto, dejando que se recupere por sus propios medios. No obstante, se recomienda que para fomentar la biodiversidad en el suelo se pongan en práctica algunas medidas como por ejemplo; el control de los indicadores de la evolución del suelo por medio de la medida de la actividad microbológica de los suelos cada cierto tiempo; la eliminación o, al menos, la reducción en el uso de fitosanitarios; la reducción, prevención y mitigación de derrames, así como un efectivo control y gestión de los residuos, tanto en el caso de los peligrosos como de los no peligrosos.

#### **Referencias / Bibliografía:**

- (1) Wic-Baena C., Andrés-Abellán M., Lucas-Borja M.E., Martínez-García E., García Morote F.A., Rubio E.; López-Serrano F.R. 2013. Thinning and recovery effects on soil properties in two sites of a Mediterranean forest, in Cuenca Mountain (South-eastern of Spain). *Forest Ecology and Management*, 308, 223-230.
- (2) Walkley, A. & Black, A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38.
- (3) Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S. & Dean, L. A. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. Department of Agriculture. Circular 939. U.S. Washington, D. C.
- (4) Bremner, J. M. 1965. Nitrogen availability indexes. In: *Methods of soil analysis* (ed Black C.A. et al.) Part 2. *Agronomy* 9:1324-1345. American Society of Agronomy.
- (5) Anderson, T. 2003. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. *Agric, Ecos & Env.*, 98, 285-293.
- (6) Vance, E., Brookes, P. & Jenkinson, D. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, 19: 703-707.
- (7) Llorente, M.; Turrión, M.B.; 2010. Microbiological parameters as indicators of soil organic carbon dynamics in relation to different land use management. *Eur J For Res.* 129:73-81
- (8) Pinzari, F.; Trinchera, A.; Benedetti, A.; Sequi, P.; 1999. Use of biochemical indexes in the mediterranean environment: comparison among soils under different forest vegetation. *Journal of Microbiological Methods.* 36: 21-28.
- (9) Andrés-Abellán M., Martínez García E., Wic Baena C., López Serrano F.R., García Morote F.A.,

Lucas Borja M.E., Dadi T., Picazo Córdoba M.I., Cervantes Peralta F., Roldán Arroyo, J.M. 2015. Valoración del impacto en suelo generado por la planta solar fotovoltaica “El Bonillo 16 +2 MW” (Albacete- España). VIII CONEIA. ISBN 978-84-491-0113-7, pp, 301-311.

## INTEGRACIÓN AMBIENTAL DE PLANTAS FOTOVOLTAICAS EN EL TERRITORIO II. FAUNA Y FLORA

Andrés Abellán, M.<sup>1</sup>; Picazo Córdoba, M.I.<sup>1</sup>; García Saucedo, F.<sup>1</sup>; García Morote, F.A.<sup>1</sup>; Rubio Caballero, E.M.<sup>2</sup>; Wic Baena, C.<sup>3</sup>; López Serrano, F.R.<sup>4</sup>

1. ETSIAM- Universidad de Castilla-La Mancha. [Manuela.Andres@uclm.es](mailto:Manuela.Andres@uclm.es)  
Albacete, España

2. ETSII- Universidad de Castilla-La Mancha, Albacete, España

3. Funcionaria de la JCCLM, Albacete, España

4. ETSIAM-Universidad de Castilla-La Mancha, Albacete, España

**Palabras clave:** Plantas Fotovoltaicas; Biodiversidad; Flora; Fauna.

### Resumen:

Ante la gran cantidad de información, estudios y trabajos relativos a los impactos y efectos negativos que las plantas solares fotovoltaicas tienen sobre el territorio, desde la Universidad de Castilla-La Mancha, en colaboración con el Instituto de Energías Renovables (I.E.R.) de Albacete, se presenta un “Informe sobre impactos ambientales asociados a la construcción de plantas solares fotovoltaicas en la Mancha”. En este documento se detallan las conclusiones de un estudio piloto realizado sobre una planta fotovoltaica situada en la localidad de El Bonillo (Albacete), y que trata sobre la identificación y análisis de impactos positivos que estas infraestructuras tienen sobre el suelo, la fauna y la flora, así como propuestas y recomendaciones de mejora para la biodiversidad en todos estos ámbitos. En este caso se presentan las conclusiones obtenidas en cuanto a la fauna y la flora se refieren, así como una descripción de los procedimientos y metodología de estudio que se ha llevado a cabo para la realización de este informe.

### Introducción:

Es de sobra conocido y está ampliamente difundido el impacto negativo que supone la construcción y la instalación de plantas solares fotovoltaicas en el medio natural. Para atender a la demanda de conocimiento sobre la situación opuesta a estos impactos, se ha desarrollado desde la Universidad de Castilla-La Mancha, en colaboración con el Instituto de Energías Renovables de Albacete, un documento en el que se recaban y se proponen aspectos sobre las plantas fotovoltaicas cuya información escasea.

Esta es la segunda parte de la presentación del “Informe sobre impactos ambientales asociados a la construcción de plantas solares fotovoltaicas en la Mancha” en el cual se muestran los resultados, las conclusiones y las propuestas relacionadas con el estudio de la fauna y la flora llevado a cabo en el ámbito de estudio de los agrosistemas de Castilla-La Mancha.

Con la elaboración de este documento se perseguía conocer de forma general el grado de biodiversidad presente en este tipo de instalaciones, así como valorar y conocer qué impactos positivos podían llegar a tener sobre la flora y la fauna.

En el primer caso, este análisis se centró en dos aspectos concretos:

- i) la forma en que la vegetación se instaló en el interior de una planta fotovoltaica, así como la relación existente con respecto a la vegetación natural de los alrededores.
- ii) la evolución de la vegetación a lo largo de la fase de funcionamiento con objeto de observar los cambios positivos sufridos por la comunidad vegetal en su proceso de adaptación a este tipo de instalaciones.

En el caso de la fauna, se fijó como objetivo principal describir los efectos positivos de las instalaciones fotovoltaicas en los sistemas agrarios manchegos. Para ello, se analizaron los grupos taxonómicos de vertebrados presentes en función de distintas variables como: la riqueza de especies, su área de distribución, el estado de conservación o el grado de protección, entre otras, centrándose sobre todo en dos aspectos:

- i) obtener una idea global de los valores de biodiversidad faunística que componen el ámbito de estudio.
- ii) establecer las áreas de importancia y de distribución de las especies y los hábitats naturales en las que éstas aparecen.

### Material y Métodos:

El procedimiento seguido para la medición de los parámetros de biodiversidad en vegetación se realiza en seis unidades principales de muestreo de 250 x 250 m situadas en una planta solar fotovoltaica de 20MW al oeste de la Provincia de Albacete (Castilla-La Mancha). Tres unidades se fijan dentro de la planta solar fotovoltaica (PSF) y tres fuera, en los alrededores de la instalación. A su vez, se han contemplado diferentes escenarios según el tipo de cubierta y uso de suelo, tanto dentro de la instalación como fuera. Dentro de la instalación (D) se han diferenciado tres localizaciones o estaciones de muestreo: bajo seguidor solar (DBS), entre paneles solares con cubierta de herbáceas (DH) y entre paneles solares con cubierta leñosa (DL). Fuera de la instalación (F), considerada como zona control, tres tipos de cubiertas: agrícola herbáceo (FAH), agrícola leñoso (FAL) y forestal (FF). Ya en campo, la metodología seguida es la siguiente (Tabla 1):

	DESARROLLO	PARTICULARIDADES
1.Lanzamiento marco medición	Aleatorio	Marco de madera de 58 cm de lado.
2.Identificación taxonómica	Familia, género y especies	Clasificación en el interior del marco y posterior identificación general.
3.Medición parámetros biodiversidad	Estimación visual en % de cobertura vegetal y medición de riqueza específica de especies en transectos (cm).	Contraste de resultados estimados visualmente con transectos dentro del marco de medición.
4. Medición parámetros complementarios	Estimación visual en % de pedregosidad del terreno y suelo desprovisto de vegetación.	

Tabla 1. Metodología de muestreo de la vegetación en campo.

Una vez obtenidos los datos se procedió en gabinete a usar los parámetros más útiles para caracterizar las comunidades existentes en la planta; la diversidad de especies, que hace referencia tanto al número de especies identificadas (riqueza específica) como a la frecuencia con que aparecen estas especies (abundancia relativa) (Shannon and Weaver, 1949) (1); el índice de Margalef (2) y el índice de equitatividad (Hulbert, 1971) (3), que indica la homogeneidad en la distribución de las especies vegetales presentes.

Las expresiones matemáticas utilizadas para el cálculo de estos índices se detallan a continuación:  
Índice de Shannon (Shannon and Weaver, 1949) (1):

$$H = \sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i$$

H=diversidad de especies

S=nº de especies de la comunidad

Pi=abundancia relativa de la especie i en la comunidad

Índice de Margalef (2):

$$I = \frac{(s - 1)}{\ln N}$$

S=nº de especies de la comunidad

N=nº de individuos de toda la comunidad

Índice de equitatividad (Hulbert, 1971) (3):

$$J = \frac{H}{H_{m\acute{a}x}}$$

H=Diversidad observada

H<sub>máx</sub>=Diversidad máxima

Una vez obtenidos los resultados, se procedió a su análisis estadístico por medio del programa Statgraphics Centurión XVI.

En el caso de la fauna, se realizó una primera fase de búsqueda bibliográfica, para la cual se consultaron el Inventario Español de Especies Terrestres, IEET, las Áreas de importancia para vertebrados y aves esteparias, además de las áreas de alto valor natural (HNV). La información extraída hace referencia a las cuadrículas UTM 10x10 de referencia del ámbito de estudio. El objetivo era disponer de una aproximación de los taxones y las áreas vegetales potencialmente presentes en el entorno de estudio, ya que ha de considerarse que la UTM 10x10 implica una superficie de 10.000 hectáreas en la que pueden entrar una gran variedad de hábitats diferentes y por tanto de sus especies asociadas, lo que no significa que los datos expuestos deben considerarse como aproximados.

El trabajo de campo se realizó por medio de transectos lineales a pie mayoritariamente, incluyendo aves de pequeño tamaño, aves nocturnas, mamíferos y ortópteros. En el caso de las aves de pequeño tamaño se incluyeron los periodos fenológicos más importantes, la invernada y la reproducción y se calcularon los valores de densidad siguiendo el método de cálculo de transectos finlandeses o de Järvinen y Väisänen (Tellería, 1986) (4), por el cual la densidad (D) se obtiene como:

$$D = \frac{n \cdot k}{L} \quad k = \frac{1 - \sqrt{(1-p)}}{W}$$

En donde:

n = número total de aves detectadas.

L = longitud del itinerario de censo (metros).

p = proporción de individuos dentro de la banda con respecto al total.

W = anchura de la banda de recuento a cada lado de la línea de progresión (metros).

De forma esquemática, los muestreos se realizaron según la siguiente metodología (Tabla 2):

	MÉTODO MUESTREO
1. AVES	(IKA)
Paseriformes	Transectos
Esteparias	Transectos
Rapaces	Detección directa, Transectos.
Rapaces nocturnas	Detección directa, Rastros
2. MAMÍFEROS	
Mesomamíferos	Detección directa, Transectos, Letrinas de conejo.
3. INSECTOS	Transectos

Tabla 2. Metodología de muestreo de fauna en campo (solapamiento o concordancia en las fechas de toma de datos de algunos muestreos).

Se calculó, además, el Índice Kilométrico de Abundancia (IKA), expresado como número de aves por kilómetro recorrido. Para la detección de rapaces nocturnas se realizaron muestreos de detección directa o bien mediante la observación de rastros en zonas clave. En el caso de los ortópteros, los muestreos se realizaron en los meses más convenientes para la detección de este grupo, en transectos lineales de 100 metros en los cuales se procede a un conteo de todo individuo que salte al paso en una anchura de 1 metro a cada lado del observador. Por último, se realizó un censo de letrinas de conejo siguiendo la metodología propuesta por el programa Iberlince (Protocolo de Seguimiento de las Poblaciones de Conejo Silvestre). Se realizaron recorridos a pie de 750 metros de longitud donde se anotan todas las letrinas de conejo detectadas en una banda de muestreo de 2 metros a cada lado del observador, calculando el IKA de las letrinas y relacionándolo con densidades de conejos/ha, a partir de una relación propuesta por Simón y colaboradores, (Simón et al., 2010) (5).

### Resultados:

Partiendo de datos ya recabados en anteriores trabajos, se constató en la fase de inicio de la actividad de este tipo de instalaciones que la mayor parte de la flora que se puede

encontrar pertenece sobre todo a comunidades y especies pioneras, herbáceas y heliófilas, que vienen determinadas por el tipo de cubierta presente en la situación preoperacional.

De hecho, se encontró una amplia variedad de taxones vegetales dentro de las instalaciones fotovoltaicas, superándose las 50 especies. Existe una dominancia de terófitos, caméfitos y hemcriptófitos (atendiendo a la clasificación de Raunkiaer), lo que nos indica la presencia de una vegetación de tipo xerófilo, típica de suelos con escasez en nutrientes, y que suelen formar parte de pastizales herbáceos de ciclo corto. Este hecho puede sufrir variaciones según qué tipo de hábitat se encuentre cercano a la situación de la planta solar en cuestión.

Son muy frecuentes las familias botánicas generalistas, de amplia representación en ecosistemas mediterráneos, y que tienen como característica principal una floración vistosa y abundante, especializada para atraer polinizadores como abejas, mariposas, moscas o escarabajos. Además, en términos globales, algo más de la mitad de las especies identificadas permiten que la planta pueda tener un uso secundario como lugar de aprovechamiento de pastos, mieles o incluso plantas medicinales. (Figura 1)

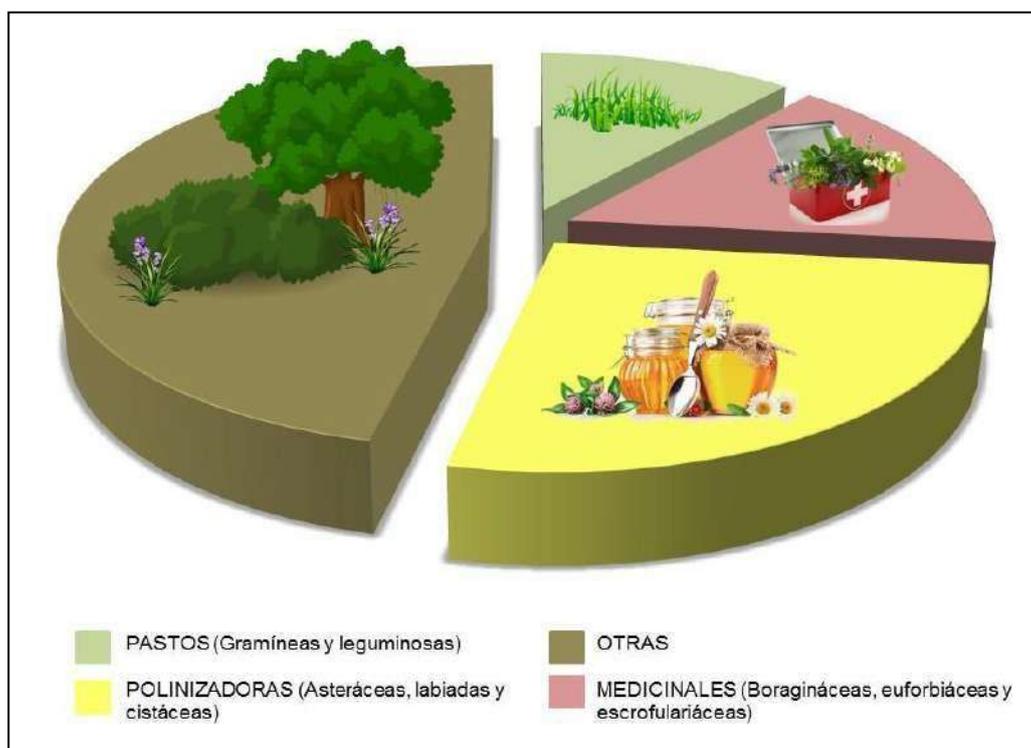


Figura 1. Distribución porcentual de familias vegetales presentes en instalaciones fotovoltaicas y clasificación según posibles aprovechamientos.

En cuanto a la diversidad, en el índice de Shannon-Wiener se observó que los valores obtenidos dentro de la planta son similares a los de un ecosistema mediterráneo típico y a los encontrados en cultivos leñosos no alterados, en los que surge vegetación espontánea por falta de laboreo, aparte de mostrar diferencias significativas con las zonas de cultivo herbáceo, donde el valor de este índice es mucho menor. Los rangos para estos índices varían según cada caso, pero tomando como referencia a varios autores (Duarte-Goyes, 2019) (7), (Pla, 2006) (8), (Laguna Lumbreras, 2018) (9), se establecen unos valores de biodiversidad estándar (<1 diversidad baja, entre 2-3

valor medio y >3 valor alto). En el caso del índice de equitatividad, Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes y el 0 señala la ausencia de uniformidad (Tabla 3).

SITUACIÓN	TIPOLOGÍA	SHANNON	EQUITATIVIDAD	MARGALEF
DENTRO PSF	BAJO SEGUIDOR	2,13	0,61	2,34
	HERBÁCEA	1,72	0,55	1,95
	LEÑOSA	1,93	0,54	2,53
FUERA PSF	LEÑOSO	2,44	0,72	1,87
	HERBÁCEO	0,75	0,29	0,97
	FORESTAL	2,22	0,60	2,76

Tabla 3. Resultados promedio de los índices de biodiversidad aplicados a la zona de estudio.

Tras realizar el análisis estadístico de los resultados, queda constatado que no existe diferencia significativa entre los indicadores de diversidad de la vegetación existente bajo panel y entre paneles, aunque sí es cierto que aquellas especies de temperamento más exigente aparecen en mayor medida bajo paneles.

Otro aspecto relevante se obtiene al comparar los taxones identificados con aquellos incluidos en los diferentes hábitats del Atlas y Manual de los Hábitats Españoles, así como en el mapa de series de vegetación de Rivas Martínez (6). Con esto se observa una progresiva aparición de especies indicadoras de este tipo de comunidades que se integran junto a otras que tienden a desarrollarse en áreas donde el suelo ha sufrido impactos o alteraciones mecánicas y que está compuesto mayoritariamente por plantas ruderales y arvenses, por lo que se termina creando una comunidad mixta formada por especies de varios hábitats (Tabla 4).

TIPO HÁBITAT	COINCIDENCIA TAXONES VEGETALES (rangos %)	
	ESPECIES	GÉNERO
Pastizales	30-40	10-20
Matorrales termófilos	0-5	20-30
Matorrales meridionales	10-20	30-40
Formaciones arboladas	0-5	5-10

Tabla 4. Nivel de concurrencia taxonómica entre especies y géneros.

Este hecho permitiría definir a las instalaciones fotovoltaicas como áreas de transición parecidas a ecotonos que incluyen especies indicadoras de ecosistemas naturales y de zonas que no han sufrido grandes alteraciones. Esto hace que aumente la biodiversidad vegetal respecto a la que alberga un cultivo de secano típico de La Mancha. En este sentido, dicha biodiversidad dentro de las instalaciones queda potenciada por la presencia ocasional de endemismos íbero-norteafricanos y especies indicadoras de distintos tipos de ecosistemas mediterráneos.

En el caso de la fauna, se obtuvieron resultados que se anticipaban de antemano, puesto que sobre este tema existe un mayor recorrido con respecto, por ejemplo, a la vegetación. En la zona de estudio se encontraron 187 taxones de vertebrados registrados según los datos extraídos de la referencia en el IEET, de las cuales el 80% son aves, 10% mamíferos, 6% reptiles, 3% anfibios y 1% peces. A continuación, se adjunta una tabla con algunas de las especies encontradas en la zona de estudio (Tabla 5) siendo el grupo con mayor importancia relativa dentro de la avifauna el de las aves esteparias. Según los criterios de la UICN de todos estos taxones, sólo el 1,1% se clasifican

como “En peligro” según el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Castilla-La Mancha (CREACLM, Decreto 33/1998), y solo 1 especie está en “peligro de extinción” (7 son “vulnerables”) según el Catálogo Español de Especies Amenazadas y su Listado (CEEA y LEEA, Real Decreto 139/2011).

NOMBRECI	NOMBRECO	NOMBRECI	NOMBRECO
<b>AVES</b>			
<i>Bubulcus ibis</i>	Garcilla bueyera	<i>Motacilla alba</i>	Lavandera blanca
<i>Egretta garzetta</i>	Garceta común	<i>Troglodytes troglodytes</i>	Chochín común
<i>Ciconia ciconia</i>	Cigüeña blanca	<i>Phoenicurus ochruros</i>	Colirrojo tizón
<i>Milvus migrans</i>	Milano negro	<i>Saxicola rubicola</i>	Tarabilla europea
<i>Circaetus gallicus</i>	Culebrera europea	<i>Turdus merula</i>	Mirlo común
<i>Accipiter nisus</i>	Gavilán común	<i>Turdus philomelos</i>	Zorzal común
<i>Buteo buteo</i>	Busardo ratonero	<i>Turdus viscivorus</i>	Zorzal charlo
<i>Aquila pennata</i>	Águila calzada	<i>Sylvia melanocephala</i>	Curruca cabecinegra
<i>Falco naumanni</i>	Cernícalo primilla	<i>Sylvia atricapilla</i>	Curruca capirotada
<i>Falco tinnunculus</i>	Cernícalo vulgar	<i>Phylloscopus bonelli</i>	Mosquitero papialbo
<i>Alectoris rufa</i>	Perdiz roja	<i>Muscicapa striata</i>	Papamoscas gris
<i>Coturnix coturnix</i>	Codorniz común	<i>Aegithalos caudatus</i>	Mito común
<i>Tetrax tetrax</i>	Sisón común	<i>Cyanistes caeruleus</i>	Herrerillo común
<i>Pterocles orientalis</i>	Ganga ortega	<i>Parus major</i>	Carbonero común
<i>Pterocles alchata</i>	Ganga ibérica	<i>Lanius meridionalis</i>	Alcaudón real
<i>Columba livia familiaris</i>	Paloma doméstica	<i>Lanius senator</i>	Alcaudón común
<i>Columba palumbus</i>	Paloma torcaz	<i>Garrulus glandarius</i>	Arrendajo euroasiático
<i>Streptopelia decaocto</i>	Tórtola turca	<i>Pica pica</i>	Urraca común
<i>Streptopelia turtur</i>	Tórtola europea	<i>Corvus monedula</i>	Grajilla occidental
<i>Clamator glandarius</i>	Críalo europeo	<i>Corvus corone</i>	Corneja negra
<i>Tyto alba</i>	Lechuza común	<i>Sturnus unicolor</i>	Estornino negro
<i>Bubo bubo</i>	Búho real	<i>Passer domesticus</i>	Gorrión común
<i>Athene noctua</i>	Mochuelo común	<i>Serinus serinus</i>	Serín verdecillo
<i>Strix aluco</i>	Cárabo común	<i>Chloris chloris</i>	Verderón común
<i>Apus apus</i>	Vencejo común	<i>Carduelis cannabina</i>	Pardillo común
<i>Merops apiaster</i>	Abejaruco europeo	<i>Emberiza cirius</i>	Escribano soteño
<i>Coracias garrulus</i>	Carraca europea	<i>Emberiza schoeniclus</i>	Escribano palustre
<i>Upupa epops</i>	Abubilla	<b>MAMÍFEROS</b>	
<i>Dendrocopos major</i>	Pico picapinos	<i>Erinaceus europaeus</i>	Erizo europeo
<i>Galerida cristata</i>	Cogujada común	<i>Vulpes vulpes</i>	Zorro rojo
<i>Galerida theklae</i>	Cogujada montesina	<i>Sus scrofa</i>	Jabalí
<i>Alauda arvensis</i>	Alondra común	<i>Cervus elaphus</i>	Ciervo rojo
<i>Hirundo rustica</i>	Golondrina común	<i>Apodemus sylvaticus</i>	Ratón de campo
<i>Delichon urbicum</i>	Avión común	<i>Mus musculus</i>	Ratón casero
<i>Anthus campestris</i>	Bisbita campestre	<i>Lepus granatensis</i>	Liebre ibérica
<i>Motacilla cinerea</i>	Lavandera cascadeña	<i>Oryctolagus cuniculus</i>	Conejo

Tabla 5. Relación de algunas especies animales listadas en la zona de estudio.

### **Discusión y Conclusiones:**

En este trabajo se incide en la importancia que a la vegetación, como base de toda cadena trófica, se la considere de la manera adecuada sin perjuicio de todo el trabajo realizado alrededor de la avifauna, que habitualmente tiene una importancia capital.

Teniendo como base una correcta estructura y calidad de la vegetación es posible tener una base adecuada para el fomento de la fauna, debido a la relación existente entre estos dos componentes de las cadenas tróficas, ya que las tecnologías actuales de paneles solares permiten mantener una superficie de cubierta vegetal adventicia suficiente. Ello asegura amplias extensiones de refugio y alimento para la entomofauna, lo que unido a la reducción en el uso de fitosanitarios permite la aparición de depredadores naturales y, por tanto, se potencia el control biológico.

A su vez, la presencia de este tipo de fauna genera importantes beneficios para los grupos faunísticos insectívoros como quirópteros, reptiles, anfibios, aves (cuya alimentación básica es a base de coleópteros, ortópteros o lepidópteros). Del mismo modo, otras medidas como fomentar la existencia de especies presa, como el conejo o la perdiz, hace que sus depredadores se vean atraídos a estos espacios, controlándose su número de forma natural o mediante la acción del hombre convirtiendo estos lugares en algo parecido a una zona de reserva.

La forma de controlar la vegetación de manera natural debe ser mediante pastoreo o medios mecánicos ya que no solo se beneficia al mantenimiento de las propias instalaciones, sino al ganado y a los pastores locales de la zona, contribuyendo al sector primario y al comercio local.

También es interesante la creación de nuevos puntos de agua ya que, además de los bebederos y comederos que se construyen como medidas compensatorias, las obras de drenaje de muchas de las plantas solares fotovoltaicas generan nuevas estructuras que, bien ejecutadas, pueden convertirse en interesantes puntos de agua, más o menos permanentes para mamíferos y sobre todo para anfibios.

Por tanto, podemos concluir que paralelamente a la evolución del suelo, la cubierta vegetal presente en instalaciones fotovoltaicas se asemeja a la vegetación existente en los alrededores, aumentando su diversidad de forma significativa con respecto a los agrosistemas manchegos. Se constituye así una zona de transición similar a un ecotono, cuya composición, reflejada mediante un inventario taxonómico, permite determinar el aprovechamiento secundario de cada instalación, como la apicultura, plantas medicinales y pastos. Al quedar aproximadamente un 90% del suelo libre de instalaciones, esta vegetación autóctona se mantiene, por lo que se convierte en hábitat y refugio de diversas especies animales. Además, la eliminación del uso de fitosanitarios, equilibra la estructura y la función de una cadena trófica típica de ecosistemas naturales de La Mancha.

Para promover y mejorar la biodiversidad de la fauna y la flora en este tipo de instalaciones se proponen algunas ideas desarrolladas más ampliamente en el informe, pero entre las que se cuentan la mejora y diversificación de las pantallas vegetales, la creación de corredores biológicos indirectos (stepping stones) o la promoción de las plantas solares como zonas de conservación vegetal *in situ*. Además, realizando algunas medidas como la colocación de cajas-nido, refugios

para quirópteros, hoteles de insectos, o mediante la creación de puntos de agua, entre otras medidas, se contribuye a facilitar la aparición de especies de avifauna, anfibios o insectos.

**Referencias / Bibliografía:**

- (1) Weaver, W.; C.E. Shannon. 1949. "The Mathematical Theory of Communication," Urbana, Illinois: University of Illinois.
- (2) Margalef, R. 1958. Information Theory in Ecology. *General Systems*, 3, 36-71.
- (3) H. Hulbert, S. 1971. The Nonconcept of Species Diversity: A Critique and Alternative Parameters. Vol. 52, No. 4. pp. 577-586
- (4) Telleria, J.L., 1986. Manual para el censo de los vertebrados terrestres. Ediciones Raíces. Madrid.
- (5) Simón et al. 2010. Diez años de conservación del Lince ibérico. Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla.
- (6) Rivas Martínez S. 1987. Mapa de series de vegetación.
- (7) A.M. Duarte-Goyes, L.F. Rosero-Erazo, A.S Guerra-Acosta, P.E. Moreno-Ortega. 2019. Diversidad biológica y seguridad alimentaria que ofrecen las huertas urbanas del altiplano andino – amazónico en el Valle de Sibundoy, Putumayo, Colombia. *Cuadernos de Biodiversidad* 57:12-25.
- (8) Pla, Laura. Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *INCI* [online]. 2006, vol.31, n.8, pp.583-590
- (9) Emilio Laguna Lumbreras, P. Pablo Ferrer-Gallego, Miguel Guara Requena. 2018. Bosque mediterráneo y humedales: paisaje, evolución y conservación aportaciones desde la biogeografía (pp.145-156) Almud, Ediciones de Castilla-La Mancha.

## LA I+D+I DE ENERGÍA EÓLICA MARINA, EVALUACIÓN AMBIENTAL Y ANÁLISIS DE EFECTOS ACUMULATIVOS Y SINÉRGICOS

Castellanos Diez, Mario; Anza Goñi, Paula; Del Real Tuñón, Javier  
Saitec Engineering, saitec@saitec.es, Leioa (Bizkaia)

**Palabras clave:** I+D+i; Eólica marina; Evaluación ambiental; Permitting; Efectos acumulativos y sinérgicos; Vigilancia ambiental.

### Resumen:

La Hoja de Ruta para la Eólica marina y Energías del mar en España (1) (en adelante Hoja de Ruta) fija un objetivo de desarrollo de eólica flotante de 1 a 3 GW para 2030. Se asume como punto fundamental el situar a España como referencia europea para el desarrollo tecnológico y de I+D+i en eólica marina, desplegando un marco habilitador que aspire a situarse como el más ágil en el entorno europeo para la prueba de nuevos prototipos de eólica marina.

Para ello, será necesario adecuar el marco regulatorio de autorización de las plataformas de ensayos de prototipos eólicos en mar abierto para agilizar la tramitación y para facilitar la rotación de los ensayos, incluyendo la evaluación ambiental.

Como estrategia, se propone que el objeto de la evaluación de impacto ambiental sea la envolvente de la plataforma de ensayo y los propios ensayos, y no en cada ensayo en sí mismo, estableciéndose en la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) condiciones sobre la plataforma de ensayos, y sobre los requisitos que debe cumplir cada uno de los ensayos.

En este contexto, la propia DIA debería establecer la necesidad de aplicar un sistema de gestión ambiental certificado a la plataforma de ensayos, que proporcione un marco para el cumplimiento de las condiciones de la DIA de los propios ensayos, y que incorpore la necesidad de adaptación a las mejores técnicas disponibles para la reducción de su impacto ambiental.

Asimismo, considerando que los ensayos son una oportunidad clave para aportar conocimiento sobre a la respuesta del medio ambiente a la eólica marina, se sugiere incorporar a la DIA la obligación de aportar la dimensión ambiental a la I+D+i de las plataformas de pruebas, así como la divulgación de los resultados del programa de vigilancia ambiental.

Esta propuesta reduciría la necesidad de trámites de los ensayos sin limitar la capacidad de protección del medio ambiente, y aportaría conocimiento sobre el impacto medio ambiental, así como transparencia en la gestión ambiental, ayudando a disolver las barreras no tecnológicas que ralentizan la tramitación de los parques eólicos marinos.

## **Introducción:**

El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (en adelante MITERD) ha aprobado en diciembre 2021 la Hoja de Ruta para la Eólica marina y Energías del mar en España, la cual establece un objetivo de entre 1 a 3 GW de desarrollo de este tipo de energía para 2030.

La Hoja de Ruta establece como uno de sus puntos fundamentales el que España se sitúe como polo de referencia europeo para el desarrollo tecnológico y de I+D+i para el diseño, escalado y demostración de nuevas tecnologías; reforzando la red de plataformas de ensayo.

En este sentido, es preciso remarcar que España es actualmente el país de la Unión Europea con más instalaciones para la I+D+i habilitadas para las energías marinas, contando con hasta tres centros de pruebas en mar abierto (BIMEP, PLOCAN, Punta Langosteira), agrupadas por el Ministerio de Ciencia e Innovación a través del programa de Infraestructuras Técnico-Singulares (ICTS), MARHIS (*Maritime Aggregated Research Hydraulic Infrastructures*).

## **Material y Métodos:**

Este estudio se basa en el análisis de la *Hoja de Ruta para la Eólica marina y Energías del mar en España* así como en los *Planes de Ordenación del Espacio Marino* (en adelante POEM) en lo que refiere a objetivos y ambiciones en materia de despliegue de infraestructuras I+D+i, y su relación con la evaluación ambiental.

A partir de la revisión de la documentación disponible y la experiencia en esta materia del equipo redactor, se realiza una aportación sobre la importancia de su desarrollo previo a través de parques pre-comerciales y demostradores, así como del procedimiento de evaluación ambiental.

Asimismo, se hace hincapié en la importancia de la amplia disponibilidad de los resultados derivados de la vigilancia ambiental y de la información de los efectos ambientales acumulativos y sinérgicos, de estos ensayos y parques, que permitirá a administraciones y promotores disponer de información útil sobre el impacto ambiental antes del despliegue de la eólica marina, en un contexto de ausencia investigación específica en las demarcaciones españolas.

## **Resultados:**

Uno de los caballos de batalla en el desarrollo de la energía eólica marina es la superación de barreras no tecnológicas, referidas éstas a los procesos de *permitting* (obtención de autorizaciones) en los que se incardina el procedimiento de evaluación de impacto ambiental de un parque o ensayo.

En Europa y Reino Unido, la obtención de las autorizaciones se suele dilatar en el tiempo, debido frecuentemente a la existencia de dudas sobre el impacto ambiental de la actuación.

Esta situación se podría replicar en las demarcaciones españolas en los próximos años, máxime considerando la incertidumbre que genera en la promoción de proyectos eólicos marinos el complejo y deficiente marco regulatorio actual, principalmente representado por el *Real Decreto 1028/2007, de 20 de julio, por el que se establece el procedimiento administrativo para la tramitación de las solicitudes de autorización de instalaciones de generación eléctrica en el mar territorial*.

Esto ha supuesto que el Gobierno de España haya aprobado una moratoria a la energía eólica marina según el *Real Decreto-ley 12/2021, de 24 de junio, por el que se adoptan medidas urgentes en el ámbito de la fiscalidad energética y en materia de generación de energía, y sobre gestión del canon de regulación y de la tarifa de utilización del agua*, con el propósito de adecuar convenientemente el marco regulatorio, de manera previa al despliegue de este tipo de energía.

En este contexto, y dentro de la apuesta decidida del Gobierno de impulsar la I+D+i en este campo, se ha exceptuado de esta moratoria a los proyectos demostradores I+D+i a través del *Real Decreto-ley 29/2021, de 21 de diciembre, por el que se adoptan medidas urgentes en el ámbito energético para el fomento de la movilidad eléctrica, el autoconsumo y el despliegue de energías renovables*.

Además, los POEM elaborados por el MITERD, sometidos a audiencia e información pública en su Anexo I<sup>2</sup> hacen mención especial a la I+D+i de eólica marina separándola del desarrollo de parques comerciales, y estableciendo consideraciones particulares para la misma. De esta manera se proponen Zonas específicas de uso prioritario para investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) que coinciden con las plataformas existentes de BIMEP y PLOCAN, así como Zonas específicas de alto potencial para I+D+i, definidas como potenciales zonas futuras para investigación, desarrollo e innovación de tecnologías renovables marinas, habiendo propuesto 7 nuevas zonas de este tipo en los POEM.

No obstante, es reseñable la flexibilidad que permiten los POEM, puesto que aunque se indica que *siempre que sea posible, estas infraestructuras se instalarán preferiblemente en las zonas de uso prioritario de I+D+i, o en las zonas de alto potencial para la I+D+i*, se establece también que *el testado y experimentación de infraestructuras de extracción de energías renovables, en fase pre-comercial o de innovación, ya sean de energía eólica o de otra energía marina, podrán ubicarse en cualquier punto del espacio marítimo, siempre respetando la normativa sectorial y ambiental vigentes, así como los criterios de coexistencia establecidos en este plan*.

### **Discusión y Conclusiones:**

#### La evaluación de impacto ambiental en el desarrollo de la I+D+i de eólica marina en España

Los objetivos establecidos en la Hoja de Ruta sobre el posicionamiento de España como polo de referencia europeo en este aspecto requieren adecuar el marco regulatorio de autorización de las plataformas de ensayos de prototipos eólicos marinos de manera que se faciliten y agilicen los trámites para la rotación de los prototipos de I+D+i, incluyendo la evaluación de impacto ambiental puesto que todas las instalaciones energéticas en el medio marino se someten al menos

a Evaluación de Impacto Ambiental Simplificada (*Anexo II, grupo 4, epígrafe h*), *Ley 21/2013 de 9 de diciembre de Evaluación Ambiental*), lo que pudiera ser un trámite excesivamente dilatado para el testado de tecnologías y prototipos, que por su necesidad intrínseca de agilidad pudieran ver comprometida su viabilidad.

En este sentido y como estrategia a seguir, se propone que el objeto de la evaluación de impacto ambiental sea la envolvente de la plataforma de ensayo y los propios ensayos, y no en cada ensayo en sí mismo, estableciéndose en la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) condiciones sobre la plataforma de ensayos, y sobre los requisitos que debe cumplir cada uno de los ensayos de prototipos y ensayos pre-comerciales.

Si bien se trata de un procedimiento de evaluación de impacto ambiental, este planteamiento tiene notables semejanzas con una evaluación ambiental estratégica, al centrarse en un ámbito concreto (envolvente) estableciendo un marco para una serie de ensayos dentro del mismo, a modo de proyectos.

De este modo, las nuevas plataformas de ensayo y su evaluación de impacto ambiental deberían incluir las correspondientes infraestructuras eléctricas de conexión, posiciones de anclaje, punto de conexión a red en una subestación eléctrica en tierra, equipamientos para la medición y registro de recurso eólico marino y de energías marinas, infraestructuras de control, sistemas de información y comunicaciones, monitorización y equipos auxiliares, incluidos sistemas robustos para el seguimiento de impactos sobre la biodiversidad, vertidos accidentales y el control de otros potenciales riesgos sobre el medio ambiente.

Asimismo, debe establecerse el tamaño máximo y rangos de tecnología que se vayan a amparar por la DIA sin necesidad de un procedimiento de evaluación de impacto ambiental nuevo, incluyendo la valoración de sus efectos y de las medidas previstas, con el objeto de acotar el tipo de ensayos a llevar a cabo.

Aspectos que deben contemplarse, con la necesaria flexibilidad, serán los transportes de los elementos a las zonas de pruebas y los elementos a la zona de ensayo, e incluso la construcción de los elementos a testar, cuando no se realice en zonas adecuadas.

En este contexto, la propia DIA debería establecer la necesidad de aplicar un sistema de gestión ambiental certificado a la plataforma de ensayos, que proporcione un marco para el cumplimiento de la DIA de los propios ensayos, y que incorpore la necesidad de adaptación a las mejores técnicas disponibles para la reducción de su impacto ambiental.

A modo de caso ilustrativo, comentar el caso concreto del proyecto de plataforma de experimentación BiMEP (Biscay Marine Energy Platform, S.A) para energía eólica marina. Dicha plataforma se encuentra dentro de un espacio Red Natura 2000 (ZEPA Espacio marino de la Ría de Mundaka-Cabo de Ogoño ES0000490) y alberga una potencia de producción para experimentación superior a 6 MW, por lo que fue sometida al procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental Ordinaria, al encontrarse incluida en el grupo 9, epígrafe a.7 del Anexo I de la *Ley 21/2013, de 9 de diciembre de evaluación ambiental*.



*Figura 1. Prototipo de plataforma eólica flotante instalada en España (mar Cantábrico)*

En mayo de 2018 se obtiene la DIA<sup>3</sup> favorable para la plataforma estableciendo una serie de condiciones que deberán cumplir cada uno los ensayos que quieran testearse en las instalaciones de BiMEP, habilitando así un marco tipo *plug & play* que, en definitiva, agiliza la realización de diferentes ensayos.

Esta DIA establece asimismo objetivos generales de BiMEP que condicionan la autorización de los diferentes ensayos. Por ejemplo se establece una condición que obliga a BiMEP a hacer un seguimiento de las poblaciones de avifauna, y de acuerdo con esto, limita la posibilidad de autorización de los ensayos:

(...)

*La autorización de los diferentes ensayos de aerogeneradores estará supeditada a la ausencia de afectación a las poblaciones de especies clave de la ZEPA Espacio marino de la Ría de Mundaka–Cabo de Ogoño: cormorán moñudo, paíño europeo, pardelas y alcatraz atlántico, que deben mantener poblaciones estables o crecientes, o al menos no verse afectadas por el funcionamiento de las instalaciones.*

(...)

Otro aspecto interesante de esta DIA es que establece en el capítulo *D. Condiciones al proyecto y medidas preventivas, correctoras y compensatorias de los efectos adversos sobre el medio ambiente* la obligación de realizar investigación sobre el impacto ambiental la propia plataforma de ensayo y los propios ensayos, y a facilitar su divulgación:

(...)

*La infraestructura BiMEP incluirá, entre sus tareas de investigación, aquellas que permitan profundizar en el conocimiento de los impactos ambientales causados. Tal y como establece la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar se deberá generar información sobre: las características de las fuentes de ruido submarino significativas, la eficacia de las tecnologías para minimizar el riesgo de colisión y otros impactos sobre las aves, la afección que las diferentes tipologías de fondeo causan sobre los fondos marinos, y el efecto de las instalaciones sobre cetáceos y otros grupos faunísticos de interés.*

*La información obtenida será remitida a la Subdirección General de Protección del Mar. Asimismo será objeto de divulgación.*

(...)

Este planteamiento se extiende en el capítulo *E. Programa de vigilancia ambiental (PVA)*, en el que se establecen condiciones para el seguimiento ambiental del estado del medio y los impactos en el entorno de la plataforma de pruebas y de cada uno de los ensayos.

Esta medida se considera muy acertada, considerando que los ensayos son una oportunidad clave para aportar conocimiento sobre la respuesta del medio ambiente a la eólica marina, y por tanto se sugiere reforzar este concepto en las Declaraciones de Impacto Ambiental de futuras plataformas de pruebas, así como el fomento de la divulgación de los resultados del programa de vigilancia ambiental.

Para aplicar estas condiciones, una opción que razonablemente debería incluirse en la DIA es la implementación en la plataforma de pruebas de un sistema de gestión ambiental (SGA) certificado según la ISO 14001 o similar, que incorpore un programa de vigilancia ambiental (PVA) de la zona de ensayos. El SGA y el PVA deberán centrarse en el cumplimiento de los requisitos de la DIA.

Este SGA y el PVA podría constituir, a su vez, un marco obligatorio para cada ensayo, en base al que se desarrollará su plan de gestión ambiental y su PVA. Toda la información relevante generada en cada ensayo se proporcionará al responsable del SGA de la plataforma de ensayos, de forma que pueda realizarse eficientemente la labor de información y divulgación necesaria.

#### Importancia de los ensayos y parques pre-comerciales para una mejor y más fundamentada EIA en el despliegue de parques comerciales

Las plataformas de ensayo y los parques pre-comerciales que en ellos se testeen, permiten obtener información clave sobre la compatibilidad de la eólica marina con el medio ambiente marino<sup>4</sup> y la sociedad, a través de la ejecución de un programa de vigilancia ambiental (PVA).

El PVA conjuntamente con otra información recopilada en las campañas de evaluación de impacto ambiental, permiten caracterizar y/o monitorizar el medio marino físico (características físico – químicas del agua, corrientes, clima marítimo, fondo marinos, acústica,...), biótico (aves marinas, mamíferos marinos, hábitat y comunidades bentónicas, nectónicas, planctónicas, ...), socio-económica (pesca, acuicultura offshore, turismo, ...) y cultural (patrimonio cultural, ), contribuyendo a obtener un conocimiento muy detallado de las condiciones ambientales en el medio marino, y su variación temporal.

Asimismo, el PVA identificará y caracterizará el estado del medio los impactos más relevantes y sus parámetros básicos, permitiendo la valoración de la eficacia de medidas preventivas y correctoras, y la bondad de ajuste de los estudios previos realizados.

El nivel de información descrito, obtenida para la plataforma de ensayo y su entorno, así como para el conjunto de todos los ensayos que se desarrollen en ella, raramente es obtenido para un proyecto comercial, y constituye una excelente oportunidad para el desarrollo de modelos fiables de impacto, aplicables a los proyectos comerciales.

Por tanto, la información y experiencia que se acumule durante la EIA y particularmente durante la ejecución de los planes de vigilancia ambiental de estos ensayos ha de ser uno de los pilares básicos sobre los que se apoyen los diferentes agentes (administraciones, reguladores, consultores, promotores, etc.) que deban participar en la futura EIA de parques comerciales más complejos y de mayor tamaño, nutriendo de información de gran valor añadido y arrojando luz sobre ciertos tipos de impactos ambientales y sociales sobre los que actualmente existe incertidumbre dado lo novedoso de este tipo de tecnología en aguas marinas españolas, donde a día de hoy no existe ni un solo proyecto comercial.

Tal y como deja entrever la Hoja de Ruta, será necesario desarrollar visores geográficos y repositorios de información que centralicen y alberguen toda la información acumulada durante estos ensayos, de manera que pueda ser diseminada y consultada por los diferentes participantes en la EIA de parques comerciales, debiendo estar estas herramientas en continua evolución.

En función del avance de estos ensayos y de la información ambiental y social que de ellos se desprenda se podrá desarrollar tal y como sugiere la Hoja de Ruta una *“Guía de directrices ambientales y de la biodiversidad sobre la implantación de energías renovables en el medio marino”* a aplicar durante la EIA de parques comerciales, de manera que dichas directrices estén debidamente soportadas por estudios empíricos y modelos realizados en el marco de la propia EIA y vigilancia ambiental de ensayos pre-comerciales.

A este respecto, como se ha mencionado anteriormente, los POEM en su redacción actual, permiten la localización de los parques eólicos marinos pre-comerciales *“en cualquier punto del espacio marítimo”*, abriendo la posibilidad de concebir zonas de pruebas y/o ensayos I+D+i en zonas próximas a las previstas para el desarrollo de parques eólicos marinos comerciales.

Esta opción desarrollada, como paso previo a los parques marinos comerciales, permitirá mejorar la bondad de la evaluación ambiental de los parques comerciales, y generará mayor confianza en las administraciones ambientales y otros *stakeholders*, lo que puede suponer una menor aplicación del principio de precaución, y quizá una menor duración de los procesos de autorización.

### Evaluación previa de efectos acumulativos y sinérgicos

El desarrollo de parques pre-comerciales I+D+i permitirá asimismo el estudio de los efectos acumulativos y sinérgicos, dado que sobre una misma plataforma de ensayo pueden testarse varios prototipos de diferentes características, o bien varias plataformas de ensayos pueden estar relativamente cercanas entre sí, siendo una gran oportunidad de valorar este tipo de impactos que pudieran ser relevantes en caso de desarrollo intensos en zonas concretas del medio marino.

En este sentido, vale la pena señalar que, gracias a la experiencia previa de tecnologías probadas en otras regiones geográficas, se conocen ciertos efectos ambientales y sociales como la ocupación del espacio marino, posible mortalidad de fauna, afecciones al lecho, ruidos submarinos, limitaciones de tráfico y pesca, etc. No obstante, estas experiencias previas corresponden en su práctica totalidad a tecnologías fijadas al fondo o “bottom-fixed”, por lo que en España no serán aplicables generalizadamente.

En España, las tecnologías a desarrollar serán fundamentalmente flotantes, por la profundidad de las aguas costeras. Por tanto, es posible que haya importantes efectos secundarios o indirectos específicos que deben ser analizados (creación de ecosistemas noveles en torno a las plataformas, posible recuperación de stocks de pesca en la poligonal, etc.), constituyendo el despliegue temprano de parques pre-comerciales I+D+i la oportunidad perfecta para realizar el estudio de estos efectos, y la recopilación de toda la información necesaria para lograr una correcta integración de la eólica marina en el territorio.

Con ello, los parques pre-comerciales I+D+i permitirán anticiparse a este tipo de impactos y valorar su grado de magnitud, para poder de este modo prever las medidas correctoras o compensatorias que fueran precisas cuando se desplieguen estas instalaciones a nivel comercial, a partir del seguimiento de impactos, que acorde a la literatura científica deberán monitorizarse especialmente sobre aves<sup>5</sup>, mamíferos marinos<sup>6</sup> y bentos<sup>7</sup>.

El conocimiento previo de estos impactos, el desarrollo de modelos y la creación de bases de conocimiento mejorará sin duda el desempeño ambiental de este sector, sentando las bases que orden y rijan el desarrollo de la energía eólica offshore en España durante las próximas décadas.

#### Referencias / Bibliografía:

- (1) [www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/desarrollo-eolica-marina-energias/default.aspx](http://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/desarrollo-eolica-marina-energias/default.aspx)
- (2) <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/ordenacion-del-espacio-maritimo/default.aspx>
- (3) Resolución de 31 de mayo de 2018, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural, por la que se formula declaración de impacto ambiental del proyecto Instalación de aerogeneradores flotantes, ubicada frente al tramo de costa entre Lemoiz y Armintza, en Bizkaia.
- (4) Ryan, K., Danylchuk, A., Jordaan, A; (2019). *Consideration of scales in offshore wind environmental impact assessments*. *Environ Impact Assess*; 75: 59–66.
- (5) Skov, H.; et al; (2017). *ORJIP Bird avoidance behaviour and collision impact monitoring at offshore wind farms Actes du Séminaire Eolien et Biodiversité – Artigues-près-Bordeaux – 21 et 22:116–120*.
- (6) Verfuss, U. K., Sparling, C. E., Arnot, C., Judd, A., and Coyle, M; (2016). *Review of offshore wind farm impact monitoring and mitigation with regard to marine mammals, The Effects of Noise on Aquatic Life II (Springer, New York), 1175–1182*.

- (7) Degraer, S., Hutchison, Z. L., LoBue, C., Williams, K. A., Gulka, J., and Jenkins, E; (2021). *“Benthos Workgroup Report for the State of the Science Workshop on Wildlife and Offshore Wind Energy 2020: Cumulative Impacts”*. Report to the New York State Energy Research and Development Authority (NYSERDA)” (Albany, NY), 45.

## APLICACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE CÁLCULO DE UNIDADES DE ABSORCIÓN DE CARBONO AZUL PARA PROYECTOS EN MARISMAS Y PRADERAS DE ANGIOSPERMAS MARINAS EN ANDALUCÍA

Hernández, I; Brun, FG; Egea, LG; Jiménez-Ramos, R

Universidad de Cádiz, Departamento de Biología, Ignacio.hernandez@uca.es, Puerto Real (Cádiz)

**Palabras clave:** Carbono azul; Fanerógamas marinas; Marisma mareal; Humedal; Sumideros de carbono.

### Resumen

La conservación de ecosistemas de carbono azul como las marismas mareales y las praderas de fanerógamas marinas supone una de las medidas de gestión más eficaces para contribuir a la mitigación del cambio climático. Ante el creciente interés por gestionar, conservar y restaurar estos hábitats de carbono azul, nace la necesidad de regular el diseño y la implementación de proyectos basados en carbono azul siguiendo diferentes estándares para obtener compensaciones de créditos de carbono. Para ello, se ha desarrollado una herramienta de cálculo que permite determinar de un modo sencillo las absorciones de dióxido de carbono asociados a proyectos que contemplen comunidades de fanerógamas marinas o marismas mareales. Además, la calculadora incluye una base de datos, en función de las características más relevantes anteriormente referidas, que permite realizar cálculos precisos para las condiciones del proyecto. La herramienta se aplicó a dos casos de estudio en Andalucía: una marisma mareal y una pradera de *Posidonia oceanica*, sugiriendo retiradas significativas de toneladas de CO<sub>2</sub> tras el tiempo de vigencia de los proyectos. La herramienta de cálculo ha de servir como primera versión sobre la que incidir en todas las incertidumbres existentes en los reservorios, como la importancia del carbono orgánico disuelto, la relevancia de las macroalgas como sumideros de carbono o la necesidad de generar información para la base de datos. Estos retos se deben afrontar en los próximos años.

### Introducción

La capacidad de los ecosistemas costeros para absorber y almacenar carbono ha promovido el desarrollo de estrategias de mitigación del cambio climático basadas en la protección y restauración de estos ecosistemas. Desde la COP21 y tras el Acuerdo de París sobre el cambio climático en 2015, se promueve la mejora de los ecosistemas que actúan como sumideros naturales de carbono, como parte de las estrategias de secuestro de este elemento para alcanzar el objetivo de reducción en torno al ~50% de CO<sub>2</sub> para el 2030 y así tratar de mantener el aumento de la temperatura media global en 1,5°C (1). Las comunidades dominadas por vegetación costera (por ejemplo, praderas marinas o marismas mareales) se encuentran entre los ecosistemas más productivos de la Tierra y desempeñan un papel importante en el ciclo global del carbono a pesar de su limitada extensión global (<2% de la superficie del océano) (2). Estos ecosistemas almacenan carbono como biomasa viva (raíces y rizomas) o muerta (p. ej., detritos) junto con partículas orgánicas atrapadas en la columna de agua y conforman una reserva de carbono conocida como “carbono azul”. Este carbono representa ca. 50-70% de todo el carbono almacenado en los sedimentos oceánicos, donde puede permanecer secuestrado durante milenios (2, 3). Así, los ecosistemas costeros y marinos y su importante papel como sumideros de carbono aparecieron por primera vez reconocidos bajo una visión internacional, enfatizando la necesidad de llevar a cabo una adecuada gestión y, en su caso, restauración de los mismos.

A pesar de ello, y aunque se han incrementado los esfuerzos para reducir la degradación de estos ecosistemas, resultan de los más amenazados del planeta, experimentando pérdidas de hasta un 7% anual, en el caso de las praderas marinas (4), y en torno a un 2% para marismas mareales (5). Con programas de protección y restauración adaptados a las comunidades vegetadas costeras se evitarían unas emisiones equivalentes al 10% de las reducciones necesarias para alcanzar los objetivos del Protocolo de Kyoto (es decir, casi 450 millones de toneladas de carbono al año; 6, 7). Por lo tanto, la protección y restauración de estos ecosistemas se debe mejorar a través de la implementación de diferentes estrategias, conocidas como Estrategias del Carbono Azul, similares a las que ya existen para los ecosistemas terrestres como una forma de mitigar el cambio climático (2, 3). Bajo este contexto, establecer un estándar que incorpore el protocolo necesario para cuantificar la retirada de CO<sub>2</sub> por parte de las praderas de fanerógamas marinas y marismas mareales, y así cuantificar el carbono fijado y secuestrado por estos ecosistemas costeros se hace relevante para aquellos proyectos basados en la fijación de carbono (p. ej. acciones de restauración, conservación).

En Andalucía, la preocupación por el cambio climático se plasmó en la Ley 8/2018 de 8 de octubre, por la cual se crea el SACE (Sistema Andaluz de Compensación de Emisiones) como instrumento voluntario para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y para la compensación en su caso, a través de proyectos. Este instrumento ha de servir de ayuda al sector empresarial para acometer proyectos de absorción en ecosistemas de carbono azul, de forma que puedan alcanzar objetivos de reducción de emisiones a través de la compensación. Para llevar a cabo estos proyectos se ha desarrollado el Estándar Andaluz de carbono para la certificación de créditos de carbono azul (8). Este Estándar, el primero desarrollado en España, tiene por objeto proporcionar a los agentes involucrados en el desarrollo de este tipo de proyectos en Andalucía, una guía clara sobre los requisitos mínimos, orientaciones administrativas y alternativas metodológicas para el diseño, implementación y seguimiento de proyectos de conservación/restauración de praderas de fanerógamas marinas y marismas mareales, así como de todas aquellas tipologías de proyectos incluidas en el alcance del Estándar.

Uno de los documentos asociados a este Estándar es la herramienta de cálculo o calculadora de absorciones. Ésta se basa en la metodología de cálculo de la reducción de emisiones de GEI que se produce al pasar de la situación actual (escenario base) a una situación futura (escenario de proyecto), tras la puesta en marcha de un proyecto de restauración o conservación de ecosistemas dominados por praderas marinas o marismas mareales. El proyecto deber conllevar una mejora sustancial en estas comunidades, favoreciendo bien un incremento en la captura de carbono en los diferentes reservorios que existen en el ecosistema (biomasa, suelo, carbono orgánico disuelto, etc.), y/o una reducción en las emisiones de GEI (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) respecto a las condiciones del escenario base.

### **Material y Métodos:**

Se elaboró una herramienta de cálculo en formato libre (ods) con las siguientes hojas de cálculo: datos generales del proyecto, escenario o línea de base, escenario de proyecto, base de datos de fanerógamas marinas y base de datos de marismas. De manera resumida, la información necesaria para completar las distintas hojas de cálculo de la calculadora incluye los distintos reservorios de carbono a largo plazo que pueden ser cuantificados, como son el reservorio de la biomasa: superficie ocupada por las diferentes especies (ha), biomasa aérea y subterránea (g peso seco m<sup>-2</sup>)

y su contenido en C (% C); el reservorio del sedimento: superficie (ha), tasas de erosión o acreción ( $\text{mm año}^{-1}$ ) y contenido en C en el sedimento (% C); el reservorio de carbono orgánico disuelto refractario proveniente de la producción primaria; el reservorio de las emisiones de GEI ( $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$ ); y el reservorio de las emisiones debidas a la propia implementación del proyecto y otras actividades inducidas por el mismo. De esta forma se pueden estimar las emisiones/capturas de carbono en el escenario o línea base (evolución de la situación actual sin proyecto), la captura de carbono futuro ocasionado por la puesta en marcha del proyecto, y por diferencia entre ambas estimaciones, la estimación del total de  $\text{CO}_2$  capturado (UDAS o Unidades de Absorción; las toneladas de  $\text{CO}_2$  capturado) al final de la vigencia del proyecto. Para confeccionar la base de datos de fanerógamas marinas y marismas mareales se partió de los datos generados por el proyecto Life BlueNatura (9) y una larga lista de referencias para estos ecosistemas en Andalucía procedente de la bibliografía científica, la cual está disponible en la versión actual de la calculadora (10).

La herramienta se aplicó a dos casos de estudio: la marisma de Las Aletas, en el término municipal de Puerto Real (Cádiz) y en una pradera de *Posidonia oceanica* en la localidad de Agua Amarga (Almería). La marisma de Las Aletas se encuentra actualmente en gran parte desecada. En este enclave, el proyecto abarca una superficie de 210 ha y consiste en una repoblación con *Spartina maritima* y la recolonización natural a partir de diferentes acciones para la mejora del régimen hídrico y la recuperación del perfil del terreno en los lugares de actuación. En el caso de la localidad almeriense, se pretende restaurar una pradera de *P. oceanica* situada dentro del Parque Natural Cabo de Gata-Níjar, perteneciente a la Red Natura 2000. La pradera está seriamente afectada por el fondeo no regulado de embarcaciones a través de bloques de hormigón depositados en el fondo marino y el garreo de las cadenas de anclaje, pues muchas de ellas están abandonadas en el fondo. Las actuaciones se realizarán sobre una superficie total de 8 ha (aunque la superficie efectiva de actuación es bastante menor) y comprenden la retirada de los muertos de fondeo y la instalación de un campo de boyas ecológico. Este campo ecológico se conseguirá gracias al empleo de estructuras de fijación ancladas en el sedimento especialmente diseñadas para ocupar una superficie mínima, preferentemente sobre fondos arenosos desnudos, y no generar daños sobre las praderas.

## Resultados

La aplicación de la herramienta de cálculo para el proyecto a desarrollar en la marisma de Las Aletas sugiere una adicionalidad total (unidades de absorción retiradas por el hecho de llevar a cabo el proyecto) de 74.314 UDAS tras el periodo de vigencia del proyecto (50 años). Estas unidades de absorción (algo inferiores en realidad, pues no se han contabilizado las emisiones debidas a la propia implementación del proyecto) se producen tanto por evitar la oxidación de carbono en la situación actual o escenario base (escenario de no proyecto) como por la absorción neta de  $\text{CO}_2$  gracias a las acciones implementadas por el proyecto (tabla I). La herramienta sugiere que las mayores capturas de  $\text{CO}_2$  se deberán al carbono orgánico disuelto (COD), mientras que las mayores emisiones se deberán al óxido nitroso.

En el caso de la pradera de *P. oceanica* la herramienta sugiere una adicionalidad total de 684 toneladas de  $\text{CO}_2$  equivalentes para un periodo de vigencia del proyecto de 50 años como en el caso anterior (tabla I). La mayor parte de estas toneladas (se deben a evitar el escenario base, es decir, a impedir que nuevos muertos de fondeo causen un daño irreparable sobre la pradera. La recuperación natural de la misma, junto con algunas acciones sencillas de restauración, generarán

las remociones netas de CO<sub>2</sub>. En este proyecto, las mayores capturas de CO<sub>2</sub> se atribuyen al carbono secuestrado en el sedimento, mientras que, de nuevo, las mayores emisiones se deberán al óxido nitroso.

Emisiones/captura (t CO <sub>2</sub> -equivalente)	Las Aletas	Agua Amarga
Biomasa	12.912,35	14,92
Suelo/sedimento	26.800	194,47
COD	36.739,62	18,23
Metano	-889,83	-0,88
Óxido nitroso	-	-0,05
	19.603,97	
Actividades del proyecto	No calculado	-11,59
Total capturas	55.958,18	215,10
Escenario de no proyecto	-18.356	-469,39
Adicionalidad	74.314	684,49

Tabla I. Resumen de las absorciones y emisiones de CO<sub>2</sub>-equivalente por los diferentes reservorios de la calculadora de emisiones.

### Discusión y Conclusiones

El empleo de la calculadora generó absorciones netas de CO<sub>2</sub>-equivalentes en ambos proyectos. Este número de UDAS es mayor si se tiene en cuenta la reversión de los procesos de oxidación de carbono en el escenario de no proyecto, lo que pone de manifiesto la necesidad de evitar la creciente degradación de los ecosistemas litorales (11, 7). Estas estimaciones de los reservorios de carbono se deberán corroborar con la toma de datos durante la vigencia de los proyectos, para lo que existen varias guías metodológicas disponibles (12, 13).

La herramienta de calculo se debe entender como una primera versión que mejorará en el futuro. Los diferentes flujos y reservorios deben ser objeto de atención en los próximos años pues son muchos los factores que determinan los valores reales en cada caso (14). En este sentido, conviene hacer una serie de consideraciones:

En primer lugar, sobre la propia base de datos. El arduo trabajo recopilatorio ha puesto de manifiesto que, a pesar de que se haya conseguido una base de datos muy significativa para ecosistemas dominados por marismas mareales y praderas de fanerógamas marinas de Andalucía, para no pocas localidades concretas se carece de datos o estos son insuficientes (15, 16). En segundo lugar, el conocimiento de los flujos de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en estos ecosistemas es limitado: no solamente hay poca información (ej. 17), sino que existen importantes incertidumbres sobre la variabilidad espacio-temporal o el incremento o decremento de los flujos con la madurez de los sedimentos o la cobertura de la vegetación (18).

Otro aspecto a considerar es la importancia de las macroalgas como sumideros o reservorios de carbono. Algunos autores sostienen que la contribución de este reservorio está claramente subestimada (19), incluyendo su contribución en forma de COD refractario (20). Sin embargo, otros autores (21) han cuestionado recientemente su función relevante como sumidero de carbono por no haber un secuestro a largo plazo, por lo que es necesario un análisis con mayor profundidad. Por último, es necesario evaluar la contribución del COD en el secuestro total de CO<sub>2</sub>. Se ha utilizado un valor medio conservativo del COD refractario del 35% a partir de numerosas fuentes de datos (ej. 22, 23, ver base de datos de la calculadora); sin embargo, dicho valor debe ser ajustado para las diferentes especies dominantes en función de un mayor conocimiento de la composición de la materia orgánica. No solamente hay que ajustar dicho porcentaje sino evaluar su contribución total, pues los ecosistemas litorales continúan el proceso de producción primaria a pesar de que alcancen la máxima cobertura y dicha producción no es tenida en cuenta en los métodos actuales de cálculo.

En cualquier caso, el estándar de carbono azul y la posibilidad de compensar créditos de carbono en ecosistemas litorales ha suscitado gran interés en numerosos artículos en la prensa (ej. 24), lo que abre una gran oportunidad para estos proyectos en un futuro próximo.

Los proyectos de carbono azul pueden ser de gran interés en el marco de la evaluación ambiental. Por un lado, pueden servir como medidas compensatorias en el caso de proyectos en el medio marino que generen impactos ambientales inevitables. Por otro lado, pueden servir como casos prácticos de generación de créditos ambientales si se desarrollan los bancos de conservación de la naturaleza, un aspecto aún muy poco explorado en España. Finalmente, pueden servir como acciones de responsabilidad social corporativa de carácter ambiental, de forma que no solamente se obtengan créditos de carbono, sino que se genere un beneficio social más allá del valor de dichos créditos en el mercado.

En conclusión, la herramienta diseñada para el estándar de proyectos de carbono azul en Andalucía ha dado pie a que por primera vez se puedan estimar las UDAS en proyectos que pueden desarrollarse en marismas mareales y praderas de fanerógamas marinas. Con el avance del conocimiento de los distintos flujos y reservorios tanto de carbono como de GEI se podrá disponer de una estimación más ajustada de los balances finales entre las estimaciones y los valores reales generados.

### **Agradecimientos**

Este trabajo ha sido posible gracias a los contratos OT2021/089 y OT2020/093 de la Universidad de Cádiz con la consultora Ecoterrae Global Solutions SL. Los autores agradecen la inestimable ayuda y cooperación para este trabajo del personal científico y técnico de la consultora Verico SCE, la Oficina Andaluza de Cambio Climático y el proyecto Life BlueNatura.

### **Referencias / Bibliografía**

1. IPCC, 2018, [www.ipcc.ch/languages-2/spanish/](http://www.ipcc.ch/languages-2/spanish/)
2. Nellemann C, Corcoran E, Duarte CM, Valdés L, DeYoung C, Fonseca L, Grimsditch G (Eds). Blue carbon: The role of healthy oceans in binding carbon. A rapid response assessment. United Nations Environment Programme, GRID-Arendal, 2009.

3. McLeod E, Chmura GL, Bouillon S, Salm R, Björk M, Duarte CM, Lovelock CE, Schlesinger WH, Silliman BR, 2011, A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO<sub>2</sub>. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 9, 552-560.
4. Waycott M, Duarte CM, Carruthers TJB, Orth RJ, Dennison WC, Olyarnik S, Calladine JW, Fourqurean JW, Heck KL, Hughes AR, Kendrick GA, Kenworthy WJ, Short FT, Williams SL, 2009, Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 106, 12377-12381.
5. Duarte CM, Dennison WC, Orth RJW, Carruthers TJB, 2008, The charisma of coastal ecosystems: addressing the imbalance. *Estuaries and Coasts*. 31, 233-238.
6. Pergent G, Baazairi H, Bisnchi CN, Boudoresque CF, Buia MC, Calvo S, Clabaut P, Hermelin-Vivien H, Mateo MA, Montefalcone M, Orfanidis S, Pergent-Martini C, Semroud R, Serrano O, Thibaut T, Tomasello A, Verlaque M, 2014, Climate change and Mediterranean seagrass meadows: a synopsis for environmental managers. *Mediterranean Marine Science*. 15, 462-473.
7. Macreadie PI, Anton A, Raven JA, Beaumont N, Connolly RM, Friess DA, Kelleway JJ, Kennedy H, Kuwae T, Lavery PS, Lovelock CE, Smale DA, Apostolaki T, Atwood TB, Baldock J, Bianchi TS, Chmura GL, Eyre BD, Fourqurean JW, Hall-Spencer JM, Huxman M, Hendriks IE, Krause-Jensen D, Laffoley D, Luisetti T, Marbà N, Masque P, McGlathery KJ, Megonigal JP, Murdiyarso D, Russell BD, Santos R, Serrano O, Silliman BR, Watanabe K, Duarte CM, 2019, The future of blue carbon science. *Nature Communication*. 10, 1–13.
8. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, 2021. Estándar andaluz de carbono para la certificación de créditos de carbono azul. Junta de Andalucía.
9. [www.life-bluenatura.eu/es/resultados/](http://www.life-bluenatura.eu/es/resultados/)
10. [www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/web/cambio-climatico/indice/-/asset\\_publisher/hdxWUGtQGkX8/content/compensaci-c3-b3n-de-emisiones/328613](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/web/cambio-climatico/indice/-/asset_publisher/hdxWUGtQGkX8/content/compensaci-c3-b3n-de-emisiones/328613)
11. Pendleton L, Donato DC, Murry BC, Crooks S, Jenkins WA, Sifleet S, Craft C, Fourqurean JW, Kauffman B, Marbà N, Megonigal P, Pidgeon E, Herr D, Gordon D, Baldera A, 2012, Estimating global “blue carbon” emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems. *PLoS ONE*. 7, e43542.
12. [www.thebluecarboninitiative.org/manual/](http://www.thebluecarboninitiative.org/manual/)
13. Otero MM (Ed). Manual para la creación de proyectos de carbono azul en Europa y el Mediterráneo. UICN, 2021.
14. Mazarrasa I, Lavery P, Duarte CM, Lafratta A, Lovelock CE, Macreadie PI, Samper-Villarreal J, Salinas C, Sanders CJ, Trevathan-Tackett S, Young M, Steven A, Serrano O, 2021, Factors determining seagrass blue carbon across bioregions and geomorphologies. *Global Biogeochemical Cycles*. 36, e2021GB006935.
15. Arroyo MC, Barrajón A, Brun FG, del Castillo F, De la Rosa J, Díaz-Almela E, Fernández-Casado M, Hernández I, Moreno D, Pérez-Lloréns JL, Otero MM, Remón JM, Vergara JJ, Vivas MS, 2015, Andalucía. En: Ruiz JM, Guillén JE, Ramos-Segura, A, Otero MM. Atlas de las praderas marinas de España. IEO, IEL, UICN, 315-400.

16. González-García A, Arias M, García-Tiscar S, Alcorlo P, Santos-Marín F, 2022, National blue carbón assessment in Spain using InVEST: Current state and future perspectives. *Ecosystem Services*. 53, 101397.
17. Oreska MPJ, McGlathery KJ, Aoki LR, Berger AC, Berg P, Mullins M, 2020, The greenhouse gas offset potential from seagrass restoration. *Scientific Reports*. 10, 7325.
18. Rosentreter JA, Al-Haj AN, Fulweiler RW, Williamson P, 2021, Methane and nitrous oxide emissions complicate coastal blue carbon assessments. *Global Biogeochemical Cycles*. 35, e2020GB006858.
19. Krause-Jenssen D, Lavery P, Serrano O, Marbà N, Masque P, Duarte CM, 2018, Sequestration of macroalgal carbon: the elephant in the Blue Carbon room. *Biology Letters*. 14, 20180236
20. Gao Y, Zhang Y, Du M, Lin F, Jiang W, Li W, Li F, Lv X, Fang J, Jiang Z, 2021, Dissolved organic carbon from culture kelp *Saccharina japonica*: production, bioavailability, and bacterial degradation rates. *Aquaculture Environmental Interactions*. 13, 101-110.
21. Troell M, Henriksson PJG, Buschmann AH, Chopin T, Quahe S, 2022, Seaweeds as a quick fix for the climate? *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*. doi: 10.1080/23308249.2022.2048792.
22. Watanabe K, Kuwae T, 2015, How organic carbon derived from multiple sources contributes to carbon sequestration processes in shallow coastal systems? *Global Change Biology*. 21, 2612-2623.
23. Duarte CM, Krause-Jensen D, 2017, Export from seagrass meadows contribute to marine carbon sequestration. *Frontiers in Marine Science*. doi: 10.3389/fmars.2017.00013
24. [www.elconfidencial.com/medioambiente/agua/2021-12-27/carbono-azul-andalucia-economia\\_3348732/](http://www.elconfidencial.com/medioambiente/agua/2021-12-27/carbono-azul-andalucia-economia_3348732/)

## ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO: APROXIMACIONES PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD CLIMÁTICA DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE TERRESTRE

Martínez-Orozco, J.M.; Tejera Cañizales, A.J.; Galisteo Moreno, M.  
Universidad Europea de Madrid, [jmiguel.martinez@universidadeuropea.es](mailto:jmiguel.martinez@universidadeuropea.es), Madrid

**Palabras clave:** Cambio climático; Carreteras; Ferrocarriles; Resiliencia; Vulnerabilidad.

### Resumen:

Los cambios que experimenta el clima van a requerir de notables esfuerzos de adaptación a un futuro escenario climático cuyo alcance dependerá, entre otros aspectos, de la magnitud y naturaleza del impacto previsto. En el caso de las infraestructuras de transporte terrestre, los impactos se relacionan con las consecuencias del aumento de temperatura, los cambios en fenómenos climáticos extremos o la inundación permanente. La adopción de medidas de adaptación precisa un análisis previo de riesgo basado en la tríada peligrosidad-exposición-vulnerabilidad. La vulnerabilidad climática, en particular, es un concepto de reciente introducción en la normativa sobre EA, que requiere su inclusión en el estudio ambiental. En la presente comunicación se realiza una revisión de los planteamientos empleados hasta la fecha para evaluar la vulnerabilidad climática de las infraestructuras de transporte terrestre.

### Introducción:

Las posibles consecuencias derivadas del cambio climático (CC) despiertan un interés y preocupación crecientes tanto en la comunidad científica como en la sociedad en general. El incremento de temperaturas va a generar importantes cambios en el régimen de lluvias, la frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos, o el nivel medio del mar, afectando sensiblemente a todos los sistemas y servicios ecológicos de los que depende la supervivencia y bienestar del ser humano. Entre los elementos afectados se encuentran asimismo las infraestructuras, sobre las que comenzamos a disponer de evidencia cada vez más clara respecto de la magnitud de los efectos climáticos que las están afectando.

En el caso de las infraestructuras terrestres de transporte, tanto carreteras como ferrocarriles, se han descrito afecciones que están comprometiendo su funcionalidad debido al incremento de eventos climáticos extremos (1), la subida nivel del mar (2), la activación de movimientos de ladera que afectan a la vía (3), las consecuencias del aumento de temperaturas sobre el deshielo y licuefacción del permafrost (4) y el deterioro de los pavimentos (5), o la reducción del nivel de servicio de la infraestructura (6).

La posible evolución del calentamiento global durante el siglo XXI hace prever un importante agravamiento de estas afecciones, que requerirán de medidas de adaptación decididas para evitar el deterioro o pérdida de una parte importante de nuestro patrimonio viario. El quinto informe elaborado por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (7) contempla cuatro posibles escenarios o Trayectorias de Concentración Representativas (*Representative Concentration Pathways*, RCPs), que describen cuatro posibles climas futuros en función de distintas hipótesis de emisiones de gases, y reciben su nombre (RCP2.6, RCP4.5, RCP6, RCP8.5) en base a la variación del

forzamiento radiativo de la atmósfera al que van a dar lugar en el año 2100 respecto de los valores preindustriales (+2.6, +4.5, +6.0 y +8.5 W/m<sup>2</sup>) (Figura 1). El sexto informe del IPCC (8), actualmente incompleto, recoge unas proyecciones que reflejan un sensible empeoramiento del clima futuro, tal como describen las cinco Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (*Shared Socio-economic Pathways, SSPs*), que definen las tendencias socio-económicas utilizadas para derivar posibles comportamientos de las emisiones y finalmente su forzamiento radiativo en la atmósfera (Figura 1).

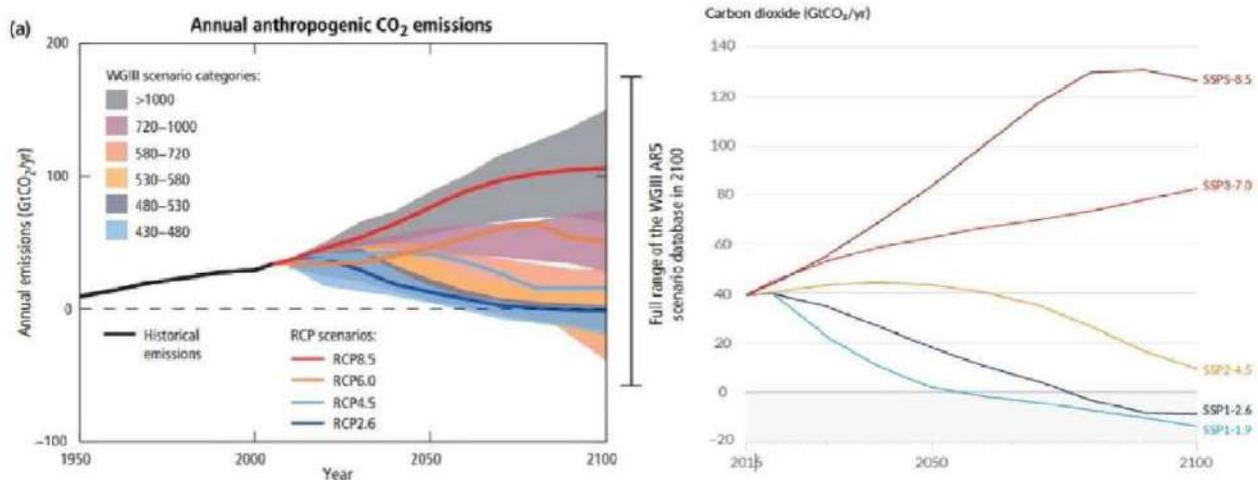


Figura 1. Escenarios de cambio climático (emisiones de anuales de Gt de CO<sub>2</sub>) contemplados en el quinto informe del IPCC (7) (izda.), y su revisión en el sexto informe (8).

El conocimiento de los impactos que producirá el clima futuro se basa, de acuerdo con la propuesta del IPCC (7), en un análisis de riesgos, que se fundamenta en la evaluación de la peligrosidad, la exposición y la vulnerabilidad. La peligrosidad se define como el “suceso o tendencia física, de origen natural o humano, que puede causar efectos negativos sobre la salud, daños en propiedades, infraestructuras, medios de subsistencia, servicios, recursos o ecosistemas”; la exposición se refiere a la “presencia de personas, infraestructuras, o activos económicos, recursos, especies o ecosistemas en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente”; la vulnerabilidad se describe como la “propensión o predisposición a ser afectado negativamente (...) comprende una variedad de conceptos que incluyen la susceptibilidad al daño, y la falta de capacidad de respuesta y adaptación”. El presente trabajo se centra, en particular, en la aplicación que se está realizando actualmente de este concepto de vulnerabilidad.

Los estudios sobre la evaluación de la vulnerabilidad climática de las infraestructuras de transporte terrestre son cada vez más frecuentes en diversas partes del mundo, lo que constituye una clara evidencia de la creciente preocupación por la magnitud de los futuros impactos sobre las redes de transporte en general, y sobre las infraestructuras más críticas en particular. Los enfoques que parecen estar empleándose presentan características desiguales, por lo que es previsible que los resultados tengan también calidad variable. Pese a que la evidencia al respecto resulta aún escasa, existe el riesgo de que se puedan estar planteando medidas de adaptación al CC basadas en una evidencia carente de la consistencia necesaria.

Con el fin de avanzar en el conocimiento del estado de aplicación de estas técnicas de evaluación, en el presente trabajo se realiza una revisión de los distintos planteamientos empleados hasta el

momento para realizar la valoración de la vulnerabilidad al clima futuro de las infraestructuras de transporte terrestre, tanto carreteras como ferrocarriles.

### **Material y Métodos:**

La revisión documental realizada incluye tanto estudios recogidos en la literatura científica como informes o trabajos desarrollados por organismos diversos, nacionales y supranacionales. La selección documental se ha centrado, en particular, en conocer el tratamiento dado a tres aspectos metodológicos que resultan determinantes en la correcta aplicación de las evaluaciones. Estos factores son:

- Los aspectos o *activos* de las infraestructuras seleccionados para realizar la evaluación. Esta elección es un paso previo a la valoración de la vulnerabilidad, que tiene el propósito de centrar el estudio en aquellos aspectos de la infraestructura que se entiende más relevantes. Pueden referirse a componentes físicos de la vía, con periodos de vida útil variada, pero también, por ejemplo, a las características del servicio que prestan, o a otras variables. Esta tarea previa de selección suele concluir con una valoración de la importancia de los distintos aspectos afectados mediante la evaluación de su *criticidad*, con la que se trata de identificar los elementos críticos o más importantes en el funcionamiento de la infraestructura.
- Los escenarios de CC considerados en los estudios. Se analizan los criterios empleados en las evaluaciones realizadas para elegir el escenario, o escenarios, climáticos. Estas proyecciones están referidas a las Trayectorias de Concentración Representativas (RCP) del mencionado quinto informe de evaluación del IPCC (Figura 1), al ser éste el documento de referencia para las evaluaciones realizadas en los últimos años. Se analiza asimismo el horizonte temporal empleado en las evaluaciones, ya que éstas pueden realizarse para periodos variables del siglo XXI.
- El método empleado en los estudios para realizar la evaluación de la vulnerabilidad climática. Se realiza un análisis de las distintas aproximaciones empleadas en la literatura científica y técnica para abordar la valoración de la vulnerabilidad, agrupando las distintas tipologías encontradas en función de los principales rasgos metodológicos de las mismas.

Los resultados encontrados se utilizan para identificar posibles patrones generales y diferencias en los procedimientos empleados, y, en su caso, fortalezas y debilidades en el tratamiento de estos tres aspectos metodológicos.

### **Resultados:**

#### **a) Selección y valoración de los componentes o “activos” de la infraestructura**

Los estudios analizados coinciden en considerar en la evaluación de los distintos elementos físicos de la vía susceptibles de resultar afectados, si bien su definición y el grado de descomposición de los mismos resulta muy dispar. Así, algunos trabajos (9, 10) realizan el ejercicio de identificación de los distintos componentes de la vía considerados vulnerables, que se concretan, por ejemplo, en tipos de movimientos de tierras, elementos de drenaje transversal y longitudinal, cimentación y características de las estructuras o tipología de pavimentos (o de vía y balasto en el caso de ferrocarriles). Con frecuencia, los elementos seleccionados incluyen otros sistemas

complementarios del funcionamiento de la infraestructura, como las instalaciones de seguridad y comunicaciones o, en el caso ferroviario, los sistemas de energía, las estaciones o las terminales (10, 11).

En otras ocasiones, la infraestructura se divide en tramos, de longitud muy variable, en función de alguna característica constructiva, funcional o geográfica común (12), si bien se emplean ocasionalmente otros criterios, como el momento de inauguración de cada tramo (13). En estos casos, la vía es considerada en general como un todo uno, tratándose de manera agregada los distintos elementos de la misma, incluso los sistemas complementarios.

La selección de elementos puede estar determinada por factores relacionados con la funcionalidad de la infraestructura, como puede ser el nivel de uso (tráfico actual o demandas previstas), la accesibilidad o conectividad que proporcionan, o incluso la existencia de vías alternativas (10, 14).

Esta etapa previa de selección de elementos o activos de la vía suele concluir con la valoración de la *criticidad*, o importancia, del elemento afectado, mediante la cual se identifican los aspectos que tienen la consideración de críticos en el funcionamiento de la infraestructura (10), y por tanto resultan prioritarios en la adopción de medidas de adaptación.

Very low to low			Moderate			Critical to Very Critical			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Criticality of asset</b>									
Notice that along with the qualitative terms there is an associated scale of 1 to 10, this is to serve as a facilitation tool for some people who may find it useful to think in terms of a numerical scale – although the scoring by each individual is of course subjective. The scale is a generic scale of criticality where “1” is very low (least critical) and “10” is very critical.									
									
Typically involves: non-NHS low AADT alternate routes available			Typically involves: some NHS non-NHS low to medium AADT serves as an alternative for other state routes			Typically involves: Interstate Lifeline some NHS sole access no alternate routes			

Figura 2. Ejemplo de escala cualitativa para la evaluación de la criticidad de las carreteras del estado de Washington (EEUU), basada en la clasificación de la vía (perteneciente o no al Sistema Nacional de Autopistas o National Highway System -NHS-; ámbito de la vía, estatal o interestatal -state, interstate-; vida útil -lifeline-), la apreciación de la importancia de la Intensidad Media Diaria (Annual Average Daily Traffic, AADT) y de la existencia de vías alternativas (alternate routes) (19).

En la mayoría de los casos, la valoración de la criticidad se basa en juicios de valor por parte del equipo técnico encargado del estudio. Para orientar la valoración, suelen emplearse criterios diversos, definidos habitualmente de manera genérica, relativos a la “sensibilidad” de la infraestructura (11, 15), la “exposición”, entendida como probabilidad de daño (15) o como extensión de la infraestructura afectada, o la “capacidad adaptativa” (16). Las valoraciones realizadas son en su mayoría cualitativas, basadas en puntuaciones o escalas ordinales que, en todo caso, están apoyadas en datos relativos al tráfico de la infraestructura, estimaciones del coste de reparación o sustitución de sus componentes, clasificaciones funcionales de la vía, o valoraciones del grado de redundancia de la infraestructura, o de su importancia en situaciones de emergencia (Figura 2). Sólo excepcionalmente se aportan guías o herramientas que permiten proporcionar mayor consistencia y replicabilidad a la valoración realizada (17, 18).

En algunas jurisdicciones, como en EEUU, la valoración de la criticidad cuenta con una etapa para la participación de expertos locales y grupos de interés (18) e incluso existen experiencias de formación de comités técnicos asesores con amplia representación de agencias y organizaciones locales (16), lo que sin duda redonda en la calidad de las evaluaciones realizadas.

#### **b) Elección del escenario de cambio climático**

El escenario de CC utilizado en la evaluación, y los criterios empleados para su elección, presentan una considerable variabilidad en los trabajos analizados. Debe tenerse presente, en tal sentido, que estos estudios parten del presupuesto de que no existe un escenario “central” o “más probable”, por lo que con frecuencia se opta por emplear varios escenarios, lo que permite recoger mejor la incertidumbre asociada a su elección.

En algunos de los estudios analizados, como los realizados en EEUU por la Agencia Federal de Autopistas (20) y el Transportation Research Board (21), o el Ministerio de Infraestructuras y Medio Ambiente holandés (22), se realiza una consideración explícita y detenida de los criterios para elegir el escenario climático. Para el caso de las carreteras y ferrocarriles, en EEUU se recomienda considerar la vida útil del elemento de la infraestructura. De acuerdo con ello, para los elementos de la vía con una vida útil superior a 30 años (como las obras de tierra, las estructuras o los túneles), se deben utilizar los escenarios más desfavorables (RCP6.0, RCP8.5); en el caso de los elementos más críticos de la vía, debería emplearse prioritariamente el escenario de emisiones más desfavorable (RCP8.5). Estos organismos consideran que la elección del escenario no es determinante para el caso de elementos de la infraestructura de vida útil corta (ya que las diferencias entre las distintas proyecciones de emisiones de GEI no son sustancialmente distintas para periodos temporales cortos) o que no tengan carácter crítico (en la medida en que su afección no compromete la funcionalidad de la infraestructura).

En Holanda, por contra, la reducción de la incertidumbre sobre las futuras emisiones se ha resuelto mediante el empleo del peor escenario posible para todas las infraestructuras consideradas vulnerables, si bien se han expresado dudas sobre la idoneidad de esta elección para su aplicación sistemática en un amplio conjunto de una red.

Otros planteamientos propuestos en Europa, como el de la Conferencia Europea de Directores de Carreteras (22), o el establecido por la Comisión Europea y el Banco Europeo de Inversiones (15), tienen la intención de guías de aplicación general, si bien no sugieren criterio alguno para la

elección de los escenarios, lo que constituye una llamativa omisión que no contribuye a facilitar una práctica correcta y comparable en las evaluaciones a realizar en los países europeos.

Entre los ejemplos desarrollados en España, merece destacarse la propuesta desarrollada por el CEDEX (12), que establece como escenario el que resulte de la elección de la situación más desfavorable de las previstas por un escenario de bajas emisiones (RCP4.5) y otro de altas emisiones (RCP8.5). Más recientemente, ADIF (11) plantea la realización de las evaluaciones del conjunto de la red ferroviaria nacional mediante un único escenario de bajas emisiones (RCP4.5), lo que constituye un caso excepcional en los estudios analizados.

Respecto del horizonte temporal empleado para evaluar las consecuencias del CC, en la mayoría de los casos se consideran dos hitos, a medio plazo (año 2050) y largo plazo (2100). El empleo solo de lapsos de tiempo cortos resulta excepcional, si bien existen estudios, como el realizado en España para realizar la primera identificación de tramos vulnerables de las redes nacionales de carreteras y ferrocarriles (12), que emplea exclusivamente un horizonte de medio plazo (30 años). Asimismo, algunos estudios (22) fijan adicionalmente plazos cortos para considerar adecuadamente los efectos sobre las labores de mantenimiento de la infraestructura (en plazos de 1 a 5 años).

### **c) Métodos de evaluación de la vulnerabilidad**

Al analizar las distintas metodologías empleadas en la literatura científica y técnica para evaluar la vulnerabilidad existente en la infraestructura, se comprueba que afrontan este problema de formas distintas, aportando resultados tanto cualitativos como cuantitativos.

Entre estos métodos están los basados en Sistemas de Información Geográfica (SIG), como el desarrollado por la Conferencia de Directores Europeos de Carreteras (22), en el cual buscan realizar la evaluación de la infraestructura, tanto por su estado físico como a nivel funcional, para desarrollar mapas de vulnerabilidad basados en SIG. Esta metodología consta de una serie de pasos previos que permitan calcular un índice de vulnerabilidad.

Para ello, primero definen criterios e indicadores de riesgos que permitan reconocer los factores de vulnerabilidad más relevantes para, posteriormente, realizar un inventario de los datos que se tienen en el SIG, para así completar los datos que faltan y finalmente evaluar mediante la asignación de puntuaciones a los factores de vulnerabilidad que permitan combinar con la información que se tiene en el SIG.

Lo cierto, es que esta metodología sirve como base para otros métodos como los basados en índices, como en el trabajo realizado por Johnsson y Balstrom (23), que reconoce que el cálculo del índice de vulnerabilidad que emplean está influenciado por el método desarrollado por el modelo anterior.

La aplicación de dicho método, en carreteras ubicadas en Suecia, consiste en agregar un valor de 1 al índice de vulnerabilidad debido a la afección de las carreteras por fenómenos hidrológicos extremos, específicamente una avenida pluvial de tiempo de retorno, una avenida fluvial y una inundación costera por el crecimiento del nivel del mar, todas estas, para periodos de retorno de 100 años. También se aplica, en los casos donde alguna de las carreteras se vea afectada por

cualquiera de los fenómenos hidrológicos, en este caso se tendrían en cuenta dos factores adicionales para el cálculo del índice de vulnerabilidad, que son la identificación de los terrenos donde posiblemente ocurra un deslizamiento de ladera (considerando solo el material de la superficie de la cual conste información en el SIG) y si la carretera afectada posee una condición de tráfico donde la intensidad media diaria (IMD) sea superior a 5.000 vehículos. La existencia de algunos de estos dos factores incrementaría la suma del índice de vulnerabilidad en 0,5.

La metodología presenta limitaciones asociadas a la utilización de datos de series históricas en las que no se sabe concretamente cómo afectaron a las infraestructuras en su momento. Pero, sobre todo, su principal debilidad es la escala empleada para valorar el índice de vulnerabilidad, carente de explicaciones que sustenten al mismo y cuya agregación posterior en un mero sumatorio no tiene base conceptual alguna (Figura 3).

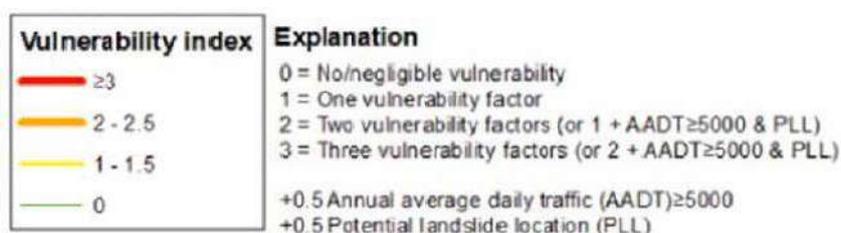


Figura 3. Valores del índice de vulnerabilidad empleado en Suecia, en función de los factores de vulnerabilidad considerados, la importancia de la Intensidad Media Diaria (AADT superior a 5.000 vehículos/día) y el riesgo de deslizamiento (PLL) (23).

Además de estos trabajos basados en modelos cuantitativos, existen otros que emplean un enfoque cualitativo, como el desarrollado por la Comisión Europea y el Banco Europeo de Inversiones (15), adoptada para evaluaciones en España por el gestor ferroviario ADIF (11). El método desarrolla una evaluación de factores asociados a la vulnerabilidad de la infraestructura mediante una combinación matricial. Los factores que tienen en cuenta son la severidad del daño y la probabilidad de que este ocurra sobre el elemento de la infraestructura a evaluar. Tanto los resultados, como los factores se valoran como lo indica el método, cualitativamente, utilizando escalas ordinales (Figura 4).

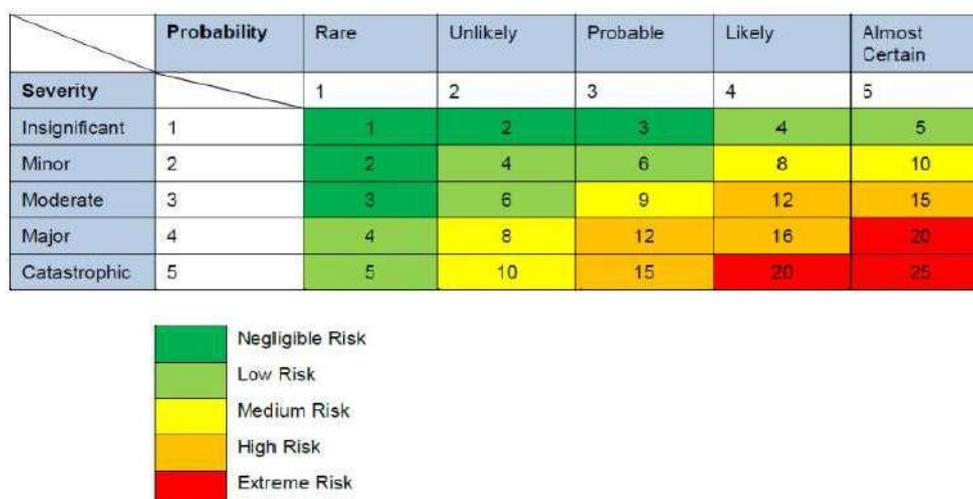


Figura 4. Ejemplo de combinación matricial y escalas ordinales de probabilidad/severidad en la aplicación de un método cualitativo para evaluarla vulnerabilidad de la infraestructura (15).

Ciertamente es un método que presenta interrogantes en el momento de aplicarse, puesto que todo el peso de la evaluación recae en el juicio de valor del equipo que lo esté aplicando, permitiendo que el resultado varíe según situaciones análogas, dejando abierta la posibilidad de encontrar inconsistencias a la hora de evaluar los elementos de la infraestructura.

### **Discusión y Conclusiones:**

Los estudios analizados evidencian la existencia de numerosas estrategias y modelos de evaluación, pero también que la base científica para realizar la elección apropiada en cada caso resulta escasa.

Así, el grado de desagregación de los componentes de la infraestructura para su evaluación es, con frecuencia, insuficiente para comprender la naturaleza y magnitud de las afecciones que se van a producir. Este ejercicio se basa además en un juicio sobre la criticidad de dichos componentes que resulta ambigua y subjetiva en el reconocimiento de lo que es “crítico”.

En lo relativo a los modelos de vulnerabilidad, es de destacar que no siempre han sido contrastados, lo que puede conducir a resultados y conclusiones sensiblemente diferentes para situaciones análogas. Es preciso, pues, mayor consistencia en la evaluación, aportando el rigor científico necesario tanto en la validación de los resultados como en el tratamiento de las incertidumbres, hipótesis y simplificaciones que deben realizarse tanto en los datos de entrada como en el procedimiento de cálculo y valoración.

Existe en este sentido un problema especialmente importante respecto del tratamiento de las incertidumbres en la evaluación, que resulta elocuente, en particular, en la elección de escenarios del cambio climático. Las incertidumbres, en este contexto, se refieren, por un lado, a las derivadas de las limitaciones de los datos y modelos climáticos actuales, y, por otro, a las debidas a nuestra incapacidad para anticipar el comportamiento humano futuro, y en consecuencia las trayectorias de emisiones durante el siglo XXI. La primera se resuelve con facilidad con la mejora de datos y modelos, pero la segunda sólo puede verificarse con el tiempo, por lo que resulta particularmente importante una elección consistente que permita una toma de decisiones adecuada para cualquier situación futura.

Resulta, por tanto, preciso avanzar en el desarrollo de guías y herramientas sobre los puntos clave de la evaluación, como son la definición de elementos de la vía, el papel de la escala de estudio, la valoración de la criticidad o el tratamiento de las incertidumbres, entre otros.

### **Referencias/Bibliografía:**

- (1) National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2014. Strategic Issues Facing Transportation, Volume 2: Climate Change, Extreme Weather Events, and the Highway System: Practitioner's Guide and Research Report. National Academies Press. Washington DC.
- (2) FHWA, 2020. Highways in the Coastal Environment, 3<sup>rd</sup> edition. Hydraulic Engineering Circular 25. Federal Highway Administration. Washington DC.
- (3) Corominas J. Riesgo de inestabilidad de laderas. En: Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 2005.

- (4) Trofimenko Y.V., Evgenev G.I., Shashina E.V. 2017. Functional loss risks of highways in permafrost areas due to climate change. *Procedia Engineering*, 189: 258-264.
- (5) Saleh M., Hashemian L. 2022. Addressing climate change resilience in pavements: major vulnerability issues and adaptation measures. *Sustainability* 14(4): 2410.
- (6) Fabella V.M., Szymczak, S. 2021. Resilience of railway transport to four types of natural hazards: an analysis of daily train volumes. *Infrastructures*, 6: 174.
- (7) Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge and New York.
- (8) Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. En prensa.
- (9) USDOT, 2011. Impacts of climate change and variability on transportation systems and infrastructure: the Gulf Coast study. US Department of Transportation, Washington DC.
- (10) USDOT, 2014. Assessing criticality in transportation adaptation planning. US Department of Transportation. Washington DC.
- (11) ADIF, 2020. Metodología para el análisis del riesgo y adaptación a los efectos del cambio climático. Norma NAG 4-0-0.0. Administrador de Infraestructuras Ferroviarias. Madrid.
- (12) CEDEX, 2018. Secciones de la red estatal de infraestructuras de transporte terrestre potencialmente más expuestas por razón de la variabilidad y cambio climáticos. CEDEX. Madrid.
- (13) CEDR, 2014. ROADAPT. Roads for today, adapted for tomorrow. Quick Scan - A24 Portugal. Conference of European Directors of Roads. Bruss ls.
- (14) Balijepalli C, Opong, O. 2014. Measuring vulnerability of road network considering the extent of serviceability of critical road links in urban areas. *Journal of Transport Geography*, 39: 145-155.
- (15) JASPERS, 2017. The Basics of Climate Change Adaptation Vulnerability and Risk Assessment. JASPERS Guidance Note, version 1. Joint Assistance in Supporting Projects in European Regions. Luxembourg.
- (16) FHWA, 2015. South Florida Climate Change Vulnerability Assessment and Adaptation Pilot Project. Federal Highway Administration. Washington DC.
- (17) USDOT, 2015. Transportation Climate Change Sensitivity Matrix. US Department of Transportation. Washington DC.
- (18) FHWA, 2017. Vulnerability Assessment and Adaptation Framework. Third edition. Federal Highway Administration. Washington DC.
- (19) WSDoT, 2011. Climate impacts vulnerability assessment. Washington State Department of Transportation. Olympia.
- (20) FHWA, 2016. Highways in the river environment: floodplains, extreme events, risk, and resilience. Hydraulic Engineering Circular 17. Federal Highway Administration. Washington DC.
- (21) TRB, 2019. Applying climate change information to hydrologic and coastal design of transportation infrastructure - Final Report. NCHRP Project 15-61. Transportation Research Board. Washington DC.
- (22) CEDR, 2015. ROADAPT. Roads for today, adapted for tomorrow. Guideline, Part C: GIS-aided vulnerability assessment for roads. Conference of European Directors of Roads. Brussels.
- (23) Johnsson I., Balstrom T. 2021. A GIS-based screening method to identify climate change-related threats on road networks: A case study from Sweden. *Climate Risk Management*, 33: 100344.

## **ANÁLISIS DE IMPACTOS AMBIENTALES Y ESTABLECIMIENTO DE MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTORAS EN PROYECTOS DE APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS REVERSIBLES**

Sánchez Arango, M.; Granero Castro, J.; Rodríguez García, J.; Villazán Peñalosa, B.  
TAXUS MEDIO AMBIENTE S.L., msanchez@taxusmedioambiente.com, Oviedo (Asturias)

**Palabras clave:** Central Hidroeléctrica Reversible; Aprovechamiento Hidroeléctrico Reversible; Almacenamiento de Energía; Impacto Ambiental; Medidas Preventivas.

### **Resumen:**

Atendiendo a la mayor flexibilidad requerida en el sistema eléctrico a medio/largo plazo a través del almacenamiento, así como la integración de las energías renovables existentes y que se prevén implantar próximamente, es necesario desarrollar sistemas de almacenamiento de energía que permitan regular los excedentes de producción no gestionables.

Hoy en día las centrales hidroeléctricas reversibles constituyen la solución técnica más eficiente para el almacenamiento de energía, si bien cada nueva infraestructura deberá ser diseñada de forma sostenible, estableciendo en su caso las medidas adecuadas que aseguren su viabilidad ambiental

El trabajo desarrollado por TAXUS MEDIO AMBIENTE S.L. para más de una quincena de proyectos de aprovechamientos hidroeléctricos reversibles, analiza los impactos ambientales de este tipo de instalaciones, detallando las conclusiones extraídas de sus respectivos Estudios de Impacto Ambiental.

Con ello se pretenden poner de manifiesto los impactos que deben ser tenidos en cuenta en los procedimientos de evaluación de impacto ambiental de este tipo de instalaciones, así como los estudios necesarios para la correcta valoración de los mismos.

### **Introducción:**

El Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030 establece como objetivo para el año 2030 que las energías renovables representen un 42% del consumo de energía final en España. Para ello, el porcentaje de generación renovable en el sector eléctrico debe experimentar un incremento de un 32%, pasando del 42% en 2020 al 74% en el año 2030.

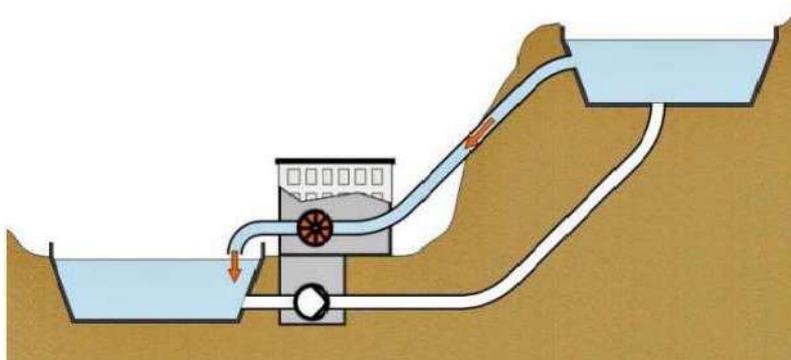
Esta implantación masiva de generación renovable no gestionable unido al cierre de las centrales térmicas, condiciona la necesidad de desarrollar sistemas de almacenamiento de energía que permitan regular los excedentes de producción de las energías renovables no gestionables para maximizar el aprovechamiento de dicha energía.

Hoy en día, las centrales hidroeléctricas reversibles (CHR) constituyen la solución técnica más eficiente para el almacenamiento de energía a gran escala, ya que durante su explotación no se generan emisiones o vertidos contaminantes, siendo una energía inagotable (principal ventaja frente a las baterías de almacenamiento, las cuales presentan una vida útil muy limitada; tras la cual además es necesario gestionar grandes volúmenes de residuos).

Características principales de un Aprovechamiento Hidroeléctrico Reversible:

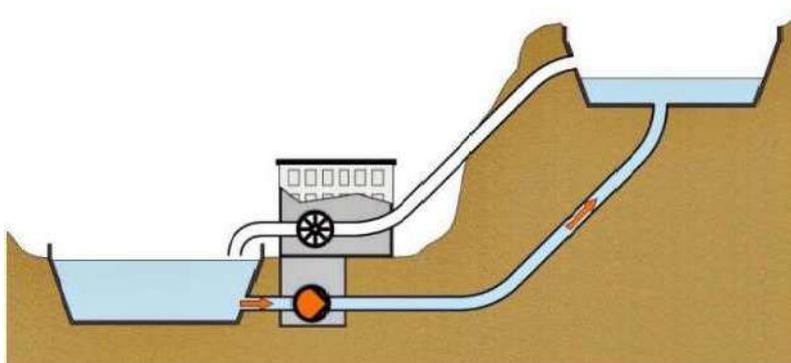
Este tipo de instalaciones precisa de dos almacenamientos de agua, uno inferior y otro superior, entre los que se produce el intercambio de agua:

- Traslase de agua desde el almacenamiento superior al inferior: **Turbinación** y consecuente generación de electricidad (en horas pico de demanda energética).



*Figura 1. Esquema general de funcionamiento de una CHR en turbinación*

- Traslase de agua desde el almacenamiento inferior al superior: **Bombeo** (durante las horas valle de consumo energético). De esta forma se consigue un almacenamiento de energía potencial en forma de volumen de agua, quedando ésta disponible para un nuevo ciclo de turbinación.

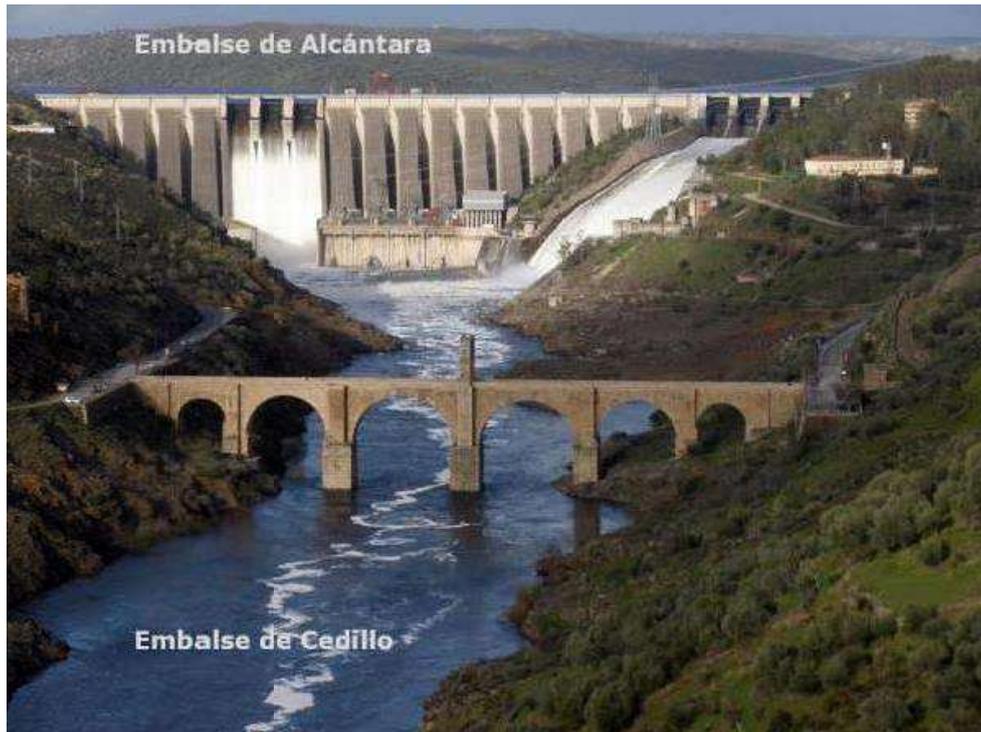


*Figura 2. Esquema general de funcionamiento de una CHR en bombeo*

Tipos de instalaciones de Aprovechamiento Hidroeléctrico Reversible:

A rasgos generales se pueden identificar los siguientes tipos de instalaciones:

- CHR que conectan dos embalses preexistentes: Ej. Central Hidroeléctrica José María de Oriol II (Cáceres) (1) (Ver Figura 3).
- CHR que precisan la construcción de un nuevo almacenamiento de agua (balsa): Ej. CHR de Aguayo-Aguayo II (Cantabria) (2) (Ver Figura 4).



*Figura 3. Panorámica del embalse de Cedillo y el embalse de Alcántara, con la actual CH José María de Oriol (futura implantación de la CHR José María de Oriol II)*



*Figura 4. Panorámica aérea del embalse de Alsa y la balsa de Mediajo (zona de implantación de la ampliación de la CHR de Aguayo-Aguayo II)*

La diferencia fundamental entre ellos es que en aquellos casos en que es necesaria la construcción de un almacenamiento de agua (balsa) este genera una mayor intrusión en el medio, ya que constituye un elemento desnaturalizado, sin conexión con los cauces de su entorno (excepto con el embalse inferior, a través de las conducciones de las instalaciones). Estas balsas precisan además de la construcción de taludes, encontrándose su sustrato impermeabilizado.



Figura 5. Imagen aérea de la balsa de La Muela en Cortes de Pallás (Valencia)

### Material y Métodos:

TAXUS MEDIO AMBIENTE S.L. ha participado recientemente en los procedimientos de impacto ambiental de 17 Aprovechamientos Hidroeléctricos Reversibles.

El análisis de la documentación generada en los citados procedimientos ha permitido identificar aquellos impactos de mayor relevancia para este tipo de instalaciones, independientemente de su zona de implantación exacta.

El presente trabajo recopila y analiza dichos impactos, exponiéndose además los estudios necesarios para la correcta caracterización y valoración de los mismos.

### Resultados:

A continuación se analizan los impactos más relevantes identificados para un proyecto de Aprovechamiento Hidroeléctrico Reversible, identificándose la fase del proyecto a la que se asocia cada impacto (construcción o explotación):

- Impactos más relevantes en fase de construcción:

Este tipo de instalaciones se proyectan habitualmente soterradas (al menos en parte) implicando por tanto un gran **movimiento de tierras**. La extracción de estos materiales conllevará afecciones en la zona de implantación, si bien deberá ser igualmente considerado el impacto ocasionado por el **depósito de los materiales de deshecho**: impacto paisajístico sobre los vertederos y su entorno. Será por tanto necesario el desarrollo de modelizaciones (mediante software GIS) de la cuenca visual que presentará el vertedero tras su colmatación.

Dicha extracción de materiales suele requerir además del empleo de **voladuras**, cuyo impacto asociado dependerá de la proximidad de viviendas y la presencia de especies de fauna protegidas. A este respecto es reseñable el hecho de que prácticamente todos los embalses del territorio

español se encuentran incluidos, al menos en parte, dentro de espacios pertenecientes a la Red Natura 2000; por lo que se requerirán censos específicos desarrollados al menos durante un ciclo anual completo. Con ello se estará en disposición de conocer las especies presentes y su distribución temporal.

Posteriormente se desarrollarán modelizaciones acústicas que permitan identificar la zona que verá reducida su calidad acústica durante las obras, y las especies y viviendas afectadas. Ello permitirá establecer restricciones temporales en las obras y en su caso pondrá de manifiesto la necesidad de instalar pantallas acústicas que minimicen esta afección en zonas concretas o la temporalización de las obras para respetar los tiempos biológicos de especies de interés: periodo de hibernación de quirópteros, periodo reproductor d aves, etc.

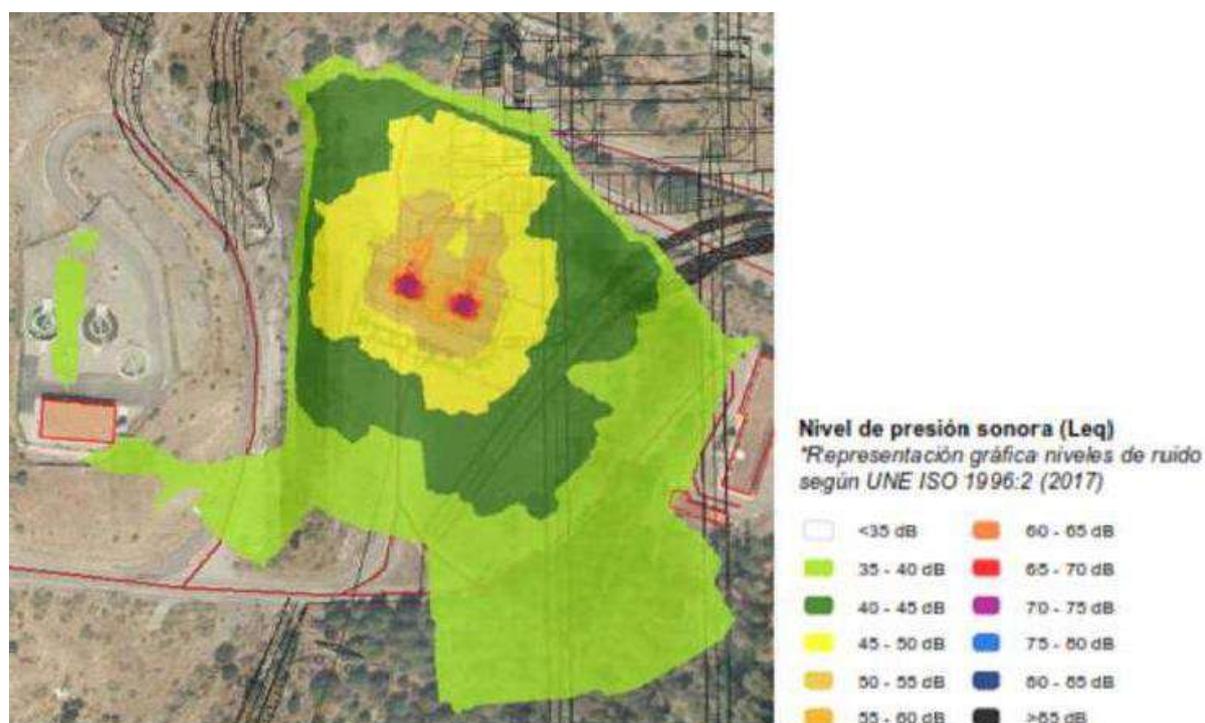


Figura 6. Ejemplo de modelización acústica, desarrollado mediante software de predicción acústica Cadna-A® 2019 MR1 (Computer Aided Design Noise Abatement) de DataKustik GmbH

Otro aspecto relevante en construcción está directamente relacionado con el hecho de que las tomas se proyectan sumergidas, siendo necesaria en esta fase la **bajada temporal del nivel del embalse/los embalses**. Deberá ser por tanto analizado si esta bajada se produce dentro del régimen de explotación habitual del sistema o fuera de él, ya que en este segundo caso podrían quedar emergidas zonas que habitualmente no lo han estado. Además, la menor superficie del cauce podría implicar un aumento de la velocidad del caudal, lo cual llevaría a la aparición de procesos de erosión y deposición de sedimentos en las colas y vaso del embalse.

Se hace por tanto imprescindible el análisis pormenorizado de esta situación, así como el desarrollo de simulaciones batimétricas de detalle y estudios de decotación, que contemplen además la explotación de cualquier otro aprovechamiento existente en la cuenca que pudiera tener influencia sobre la carrera de los embalses analizados.



Figur7. Ejemplo de estudio batimétrico de detalle desarrollado mediante software GIS e imagen representativa de los efectos de la bajada de n embalse

Otros impactos que deberán ser considerados previamente a la bajada del embalse son la posibilidad de que la ictiofauna quede aislada en los remansos de agua que puedan generarse, así como la posibilidad de que sean liberados los gases presenten en el fondo (ej. metano), ya que podrían verse desestabilizados con la merma de la presión que el agua ejerce sobre ellos, poniendo en peligro la pervivencia de la fauna en general y de los peces en particular. Todo ello puede requerir del diseño de campañas específicas de rescate de fauna mediante técnicas de pesca eléctrica a pie o desde embarcaciones y el posterior traslado a zonas seguras(aguas arriba del área de afección).

- Impactos más relevantes en fase de explotación:

En fase de explotación las potenciales afecciones vendrán condicionadas por:

- La **variación de la altura de la lámina de agua**: el elemento del medio más afectado será la vegetación, pudiendo sufrir esta un aporte insuficiente de agua, o por el contrario quedar anegada. En ambos casos correría peligro la pervivencia de las comunidades de las márgenes, si bien en el segundo caso existirá además un riesgo de incorporación de material orgánica al agua con el consiguiente riesgo de eutrofización. Las medidas más eficientes en este caso serían la creación de bancos de semillas, la tala o translocación de individuos (si bien ello dependerá de las especies y su desarrollo, e incluso las condiciones que presente el vaso en relación a la accesibilidad para maquinaria adecuada).
- **Variación de la velocidad de ascenso y descenso de la lámina de agua**: el cambio de velocidad con respecto a la situación actual podría afectar a la fauna presente:
  - Ungulados silvestres y ganado: que podrían quedar aislados o incluso sufrir ahogamiento.
  - Puestas, nidos, etc. de aves y herpetofauna, que podrían quedar anegados.De nuevo en este caso serán necesarios estudios batimétricos específicos, así como el desarrollo de prospecciones previas en la zona que permitan trasladar los nidos o puestas, o incluso a aquellos individuos de escasa movilidad a zonas seguras sin influencia de la carrera del embalse.  
Estos estudios específicos podrían poner además de manifiesto la necesidad de instalar vallados que impidan el acceso de fauna a la lámina de agua.
- **Intercambio de agua entre embalses**: Debido a que las centrales hidroeléctricas reversibles no implican el vertido de sustancia contaminante alguna, ni cambio en las propiedades del agua captada/vertida, no son esperables afecciones a la calidad del agua; siendo además reseñable el hecho de que los embalses existentes ya presentan dicho intercambio de agua, bien de forma natural o a través de otros aprovechamientos preexistentes.  
Este intercambio de agua entre embalses llevará no obstante asociado:
  - **Riesgo de transmisión de especies invasoras**: A este respecto cabe mencionar el caso de la azolla (*Azolla filiculoides*), por ser habitual en la cuenca del Tajo. Esta especie, en condiciones óptimas para su desarrollo (alta temperatura y presencia de nutrientes) se reproduce de forma exponencial en la superficie de la masa de agua que coloniza, impidiendo la entrada de oxígeno y luz en profundidad, y afectando con ello a la comunidad biótica.  
Los protocolos de prevención consultados (3)(4) describen una enorme dificultad (técnica y económica) para la erradicación de esta especie en las masas de agua colonizadas, debido a su reproducción vegetativa en condiciones de estrés. Dicha bibliografía destaca igualmente la importancia de la prevención y el seguimiento de la aparición de esta especie, y la eficacia de las barreras de contención en la minimización de su dispersión (Ver Figura 8).



Figura 8. Barrera de contención de azolla instalada en el Parque Natural de Nonfragüe e 2020

- **Afección a comunidad fitoplanctónica:** La relevancia de la comunidad fitoplanctónica, y específicamente de su caracterización, radica en que este es el elemento empleado en la actualidad para determinar el potencial ecológico de los embalses; definiéndose este en el Reglamento de la Planificación Hidrológica (5) como “una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a una masa de agua artificial o muy modificada”. Los ecosistemas acuáticos están sujetos a una gran variabilidad espacial y temporal, causando un alto grado de incertidumbre en relación con el comportamiento de las especies fitoplanctónicas (Reynolds, 1998 (6)). A este respecto, numerosos estudios ponen de manifiesto la enorme variabilidad que muestran sus comunidades frente a las diferentes condiciones ambientales, presentando en muchos casos un comportamiento estocástico (Estrada, 1976 (7); Chase, 2010 (8); Granero 2019 (9)). Dichos estudios concluyen que la comunidad de fitoplancton tiende a adaptarse a la variación de condiciones de medio, por lo que si bien la explotación de un nuevo aprovechamiento podría implicar un cambio en la composición taxonómica de la comunidad presente en los embalses, en ningún caso implicará la desaparición o merma de dicha comunidad, ni tendrá efectos sobre la producción primaria de estos.

Se ha considerado asimismo, el hecho de que al pasar por la central en cada ciclo de bombeo o turbinado, el fitoplancton se vea sometido a saltos bruscos de presión. Si bien es cierto que se carece de bibliografía al respecto, no se considera que las células vayan a sufrir daños por dicho fenómeno, siendo esperable que en ese caso se vieran desfavorecidas las especies coloniales o de elevado biovolumen. Ello repercutiría de manera favorable en el cálculo del citado potencial ecológico, ya que este penaliza durante el cálculo tanto valores elevados de biovolumen como la presencia de especies coloniales en el cálculo del índice IGA (Índice de Grupos Algares).

Por todo lo anterior, se estima que la actividad de una central hidroeléctrica reversible no debería suponer una disminución o pérdida de las poblaciones asociadas a estas comunidades, siendo en todo caso necesario el seguimiento a largo plazo de la comunidad fitoplanctónica.

- **Incremento de la turbidez:** En la zona inmediata a las captaciones de agua se producirá la movilización de sedimentos a consecuencia del vertido y succión de agua, lo cual podrá implicar afecciones sobre la fauna presente en la zona, pudiendo llegar incluso a obstruir las branquias de la ictiofauna. Para la valoración de este impacto serán necesarios estudios hidrodinámicos específicos (Ver Figura 9).

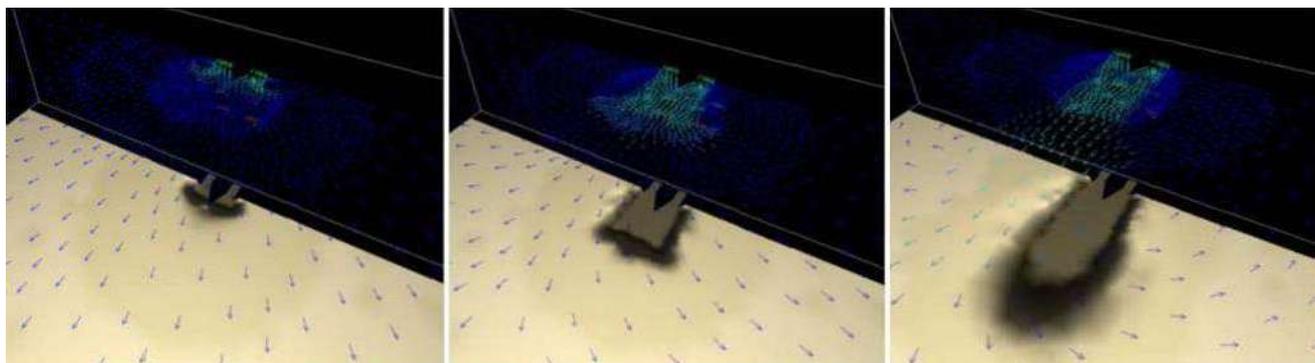


Figura 9. Ejemplo de estudio hidrodinámico obtenido mediante software MIKE 3M

### Discusión y Conclusiones:

El análisis desarrollado en el presente documento pone de manifiesto que las centrales hidroeléctricas reversibles son instalaciones necesarias y eficaces en el contexto energético actual. No obstante, su desarrollo precisa de estudios específicos de detalle que no deben circunscribirse únicamente a la zona de implantación, sino que deben incluir un rango de acción más amplio en el que queden representadas las condiciones existentes aguas arriba de la zona de implantación (y específicamente todos los aprovechamientos preexistentes), así como las condiciones presentes aguas abajo de la instalación, por su potencial afección indirecta.

Esta complejidad ha sido reflejada en recientes Declaraciones de Impacto Ambiental de proyectos de aprovechamientos hidroeléctricos reversibles, en las que se establecen *Comisiones de Seguimiento* específicas para la vigilancia de los efectos de cada proyecto en cuestión, así como para el seguimiento de su ejecución y de la efectividad de las medidas adoptadas en ellos.

Las tablas que se presentan a continuación resumen los impactos más relevantes descritos para las fases de construcción y explotación en el presente documento, así como las medidas y estudios específicos necesarios para su correcta valoración. En todo caso, cada nuevo proyecto precisará de un análisis pormenorizado y específico en su área de implantación, que permita:

1. Identificar los elementos del medio potencialmente más afectados o más sensibles (mediante el desarrollo de análisis bibliográficos y estudios de campo de detalle y a largo plazo)
2. Identificar, valorar y siempre que sea posible cuantificar la afección ocasionada sobre ellos durante todas las fases del proyecto (para lo cual será necesario el desarrollo de estudios y modelizaciones específicas)
3. Definir medidas preventivas, correctoras o compensatorias que permitan minimizar dichos impactos

La combinación de toda la información anterior permitirá finalmente determinar si un proyecto concreto es ambientalmente viable en una ubicación determinada.

Actuación	Elemento impactado	Estudios específicos Medidas
Movimiento de tierras: extracción y depósito	Sustrato geológico	Diseño adecuado (minimización de zona de afección)
	Paisaje en torno al vertedero de tierras	Simulación de la cuenca visual
Voladuras	Población	Modelización acústica
	Fauna protegida	Censo de poblaciones durante un ciclo anual completo Modelización acústica
Construcción de tomas de agua: bajada temporal del nivel del embalse	Medio físico y biótico en zona de implantación y aguas abajo	Simulaciones batimétricas de detalle
	Ictiofauna	Pesca eléctrica: Captura y traslado a zonas seguras

Tabla 1. Impactos más relevantes en fase de construcción

Actuación	Elemento impactado	Estudios específicos Medidas
Variación de la altura de la lámina de agua	Vegetación	Tala o translocación de individuos
Variación de la velocidad de ascenso/ descenso de la lámina de agua	Fauna (individuos, puestas, nidos...)	Instalación de vallados que limiten el acceso al vaso
		Translocación de individuos, nidos o puestas
Riesgo de transmisión de especies invasoras por intercambio de aguas	Medio biótico del embalse	Barreras de contención
Bombeo/turbinación	Comunidad fitoplanctónica	Seguimiento a largo plazo de indicadores del potencial ecológico
Vertido de aguas	Calidad del agua: incremento de turbidez (afección indirecta a fauna acuática)	Simulación hidrodinámica de detalle

Tabla 2. Impactos más relevantes en fase de explotación

**Referencias/Bibliografía:**

- (1) Estado de tramitación de EIA: Fase Potestativa. <https://sede.miteco.gob.es/portal/site/seMITECO/navServicioContenido> (fecha de consulta 06/09/2022).
- (2) Resolución de 27 de mayo de 2020, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, por la que se formula declaración de impacto ambiental del proyecto "Ampliación de la central hidroeléctrica reversible de Aguayo-Aguayo II (Cantabria)" (BOE nº 168 de 16/06/2020).
- (3) Protocolo de prevención, detección temprana y erradicación y control de *Azolla filiculiodes* Lam., publicado por el Proyecto LIFE10 NAT/ES/582.
- (4) Lucha contra las especies invasoras en las cuencas hidrográficas del Tajo y del Guadiana en la Península Ibérica (LIFE INVASEP).
- (5) Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica.
- (6) Reynolds, C. S. 1998. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status? *Hydrobiologia* 369/370: 11-26.
- (7) Estrada M. 1976. Modelos empleados en la interpretación de la heterogeneidad del fitoplancton. *Oecologia aquatica*, 2: 3-1.
- (8) Chase J.M. 2010. Stochastic community assembly causes higher biodiversity in more productive environments. *Science*, 328, 1388–1391.
- (9) Granero J. 2019. El fitoplancton en el contexto de la Directiva Marco del Agua: variabilidad de la comunidad, consideraciones sobre el índice de potencial ecológico (IPE) y nueva propuesta para embalses del norte de España. Tesis Doctoral. Universidad de León. 328pp.

**BLOQUE 5**  
**Otros**

## CONSECUENCIAS EN LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL POR LA AUSENCIA DE PLANIFICACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES. EL EJEMPLO DE ARAGÓN

Abad García, J.  
Consultor ambiental  
[jabadgar@telefonica.net](mailto:jabadgar@telefonica.net)  
Zaragoza

**Palabras clave:** Planes estratégicos; Energías renovables; Impactos.

### Resumen:

Ante la avalancha de Evaluaciones de Impacto Ambiental de proyectos de energías renovables eólicas y fotovoltaicas, se pone de manifiesto la ausencia de planificación acompañada de la consiguiente Evaluación Ambiental Estratégica que establezca el marco para la autorización posterior de proyectos legalmente sometidos a evaluación, como se encuentra legislado con los que se refieren a la energía.

Se trata de comprobar las consecuencias ambientales en Aragón de esta falta de planificación estratégica a partir de analizar las Resoluciones con las Declaraciones de Impacto Ambiental y los Informes de Impacto Ambiental publicados de los proyectos de energías renovables eólica y solar, así como de las instalaciones auxiliares de evacuación, para concluir con una serie de acciones que se proponen con carácter de urgencia.

Los datos a contrastar serían generales y con detalles específicos en aspectos como: fraccionamiento, efectos acumulativos y sinérgicos, afecciones a Red Natura 2000, biodiversidad, usos del suelo, medidas, programa de vigilancia y seguimiento, demolición tras la finalización de la vida útil de la instalación, etc.

### Introducción:

La comunicación analiza las deficiencias de la Evaluación de Impacto Ambiental cuando se aplica a proyectos aisladamente en espacios con acumulación de instalaciones de generación de energía renovable que condiciona la valoración de los efectos y manifiesta la ausencia de la adopción previa de una planificación estratégica como marco de acción en la ordenación territorial y ambiental

### Material y métodos:

Se han analizado 236 documentos publicados en el Boletín Oficial de Aragón en el periodo temporal de cuatro años comprendido entre 2018 y 2021, tomando como material de análisis las Resoluciones que se corresponden con 172 Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) del procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental Ordinaria (EIAo) y 64 Informes de Impacto

Ambiental (IIA) relativos a las Evaluaciones de Impacto Ambiental Simplificada (EIAs), con la siguiente distribución:

- 90 DIA de Parques Eólicos: 47/2018, 22/2019, 3/2020 y 18/2021.
- 57 DIA de Plantas Solares Fotovoltaicas: 28/2018, 5/2019, 11/2020 y 13/2021.
- 25 DIA de Líneas Eléctricas de Evacuación: 20/2018, 2/2019, 2/2020 y 1/2021.
- 13 IIA de Parques Eólicos: 11/2018, 1/2019 y 1/2021.
- 51 IIA de Plantas Solares Fotovoltaicas: 3/2018, 3/2019, 12/2020 y 33/2021.

El método utilizado para el análisis de las evaluaciones ambientales es la caracterización a partir de los documentos públicos de un conjunto de indicadores que sirvan para definir los defectos de la evaluación proyecto a proyecto, resumiendo los datos en cinco hojas de cálculo correspondientes a los bloques ya mencionados (3 DIA y 2 IIA).

El concepto técnico de fraccionamiento se establece por la legislación como un mecanismo artificioso de división de un proyecto con el objetivo de evitar la Evaluación de Impacto Ambiental ordinaria. En el análisis utilizado, la diferencia radica en los 50 MW que se establece como límite en la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del sector eléctrico (artículo 3.13), para separar, por encima de esta potencia, los proyectos sometidos a Evaluación de Impacto Ambiental en el procedimiento estatal y, por debajo, los sometidos al procedimiento autonómico. Con ello se presupone la posible inclinación de los promotores a realizar la evaluación autonómica, sin entrar en las causas de esta preferencia.

El tratamiento y consideración de los efectos acumulativos y sinérgicos suponen un indicador de la agrupación de proyectos, que se evalúan aisladamente, pero que ocupan territorios próximos, lo que conlleva la ausencia de contemplar los impactos conjuntos de varias instalaciones energéticas relacionadas por su cercanía.

Los impactos sobre la Red Natura 2000 o en Espacios Naturales Protegidos son otra de las variables utilizadas para comprobar las posibles irregularidades.

Respecto a la biodiversidad, se han tenido en cuenta los impactos sobre flora y fauna amenazada fuera de los espacios protegidos, considerando los taxones incluidos en los catálogos de especies amenazadas y los hábitats prioritarios.

En cuanto a los usos del suelo, se incluye la ocupación de las instalaciones solares fotovoltaicas en hectáreas, por presentar vallado perimetral y cubrir grandes superficies de suelo, el número de aerogeneradores y la longitud de las líneas eléctricas de evacuación de energía en kilómetros.

Le legislación establece que la Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos abarcará las fases de ejecución, explotación y, en su caso, de demolición o abandono del proyecto. Las instalaciones de generación eléctrica analizadas tienen una vida media y un plazo en el que al finalizar se deben dismantelar y restaurar los suelos resultantes, lo que conlleva atender en los estudios de impacto ambiental esta fase del proyecto.

De las medidas ambientales y el plan de vigilancia ambiental de las Resoluciones analizadas, se han estudiado las relaciones con los indicadores anteriormente mencionados.

### Resultados:

Los resultados de los análisis de las Declaraciones de Impacto Ambiental son 162 resoluciones compatibles y 10 (6,2%) incompatibles y de los Informes de Impacto Ambiental 51 resoluciones de no someter a la EIAo y 13 (25,5%) de someter a EIAo, con la siguiente distribución:

- DIA de Parques Eólicos: 83 compatibles y 7 (8,4%) incompatibles.
- DIA de Plantas Solares Fotovoltaicas: 56 compatibles y 1 (1,8%) incompatible.
- DIA de Líneas Eléctricas de Evacuación: 23 compatibles y 2 (8,7%) incompatibles.
- IIA de Parques Eólicos: 12 no someter a EIAo y 1 (8,3%) someter.
- IIA de Plantas Solares Fotovoltaicas: 39 no someter a EIAo y 12 (30,8%) someter.

Para establecer rangos de magnitud, se incluye la potencia de la totalidad de las instalaciones eólicas y solares fotovoltaicas en Aragón, sumando las que se encuentran en funcionamiento, las autorizadas y las admitidas (1), con un total de 24.518 MW, 14.586,5 MW de parques eólicos y 9.931,5 MW de plantas solares fotovoltaicas.

El total de instalaciones analizadas suman una potencia de 5.760,77 MW (23,5 % del total en Aragón), que se corresponde a 2.966,77 MW de parques eólicos (20,3 % del total en Aragón) y 2.794 MW de plantas solares fotovoltaicas (28,1 % del total en Aragón).

En las líneas eléctricas aéreas de alta tensión para la evacuación de la energía, se proyecta una longitud total de las instalaciones de 314,86 km.

En cuanto al fraccionamiento, en las DIA de plantas solares fotovoltaicas es más acusado, ya que 29 (51,8%) presentan una potencia comprendida entre 49,4 y 50 MW; de ellas 19 (33,9%) se encuentran por encima de 49,88 MW, e incluso una de ellas en el año 2019 define una potencia de 49,959 MW.

Entre los parques eólicos, el fraccionamiento es menos patente, ya que 25 (30,5%) presentan una potencia en ese rango de 49,4 a 50 MW, incluyendo a tres de ellos que manifiestan una potencia de 50 MW en los años 2019 y 2020. Entre los IIA destaca una del año 2019, cuyo resultado fue no someter a EIAo, que declaró una potencia de 49,5 MW.

Al fraccionamiento para someterse al procedimiento Autonómico evitando el Estatal, se une la fragmentación de proyectos evaluados aisladamente, situados en terrenos próximos que comparten instalaciones comunes como son las líneas eléctricas de evacuación de energía; a partir de las DIA analizadas de estas líneas eléctricas de alta tensión y de los municipios donde se localizan se descubre el nexo de unión con la ausencia de contemplar adecuadamente los efectos acumulativos.

Existen varios ejemplos, pero por la limitación en la extensión del trabajo, se han elegido dos municipios vecinos: Chiprana y Escatrón, ambos en la provincia de Zaragoza, con los efectos

acumulativos entre ambos por la proximidad de las actuaciones y que suman 15 proyectos con empresas diferenciadas pero gestionadas por el mismo grupo promotor.

En el municipio de Escatrón, entre el 21 de febrero y el 20 de junio de 2018, se publicaron 10 DIA compatibles correspondientes a 10 proyectos evaluados aisladamente, 1 proyecto de línea de evacuación de energía y subestación eléctrica para las nueve plantas y 9 proyectos de plantas solares fotovoltaicas que suman 399,37 MW, una implantación superficial de 1.277,37 ha y 811,55 ha de ocupación valladas. Estos proyectos deberían haber tenido una evaluación conjunta.

En el término municipal de Chiprana, entre el 24 de mayo y el 28 de junio se publicaron 5 DIA compatibles correspondientes a 5 proyectos evaluados aisladamente, 1 proyecto de línea de evacuación de energía y subestación eléctrica para las cuatro plantas y 4 proyectos de plantas solares fotovoltaicas que suman 199,52 MW y una implantación superficial de 463,09 ha y 317,02 ha de ocupación. Estos proyectos deberían haber tenido una evaluación conjunta.

El inadecuado tratamiento de los efectos acumulativos y sinérgicos al realizar las evaluaciones de forma aislada y fraccionada, que se pone de manifiesto en estos ejemplos, es constatada por el órgano ambiental cuando en las DIA e IIA cuestiona la metodología utilizada y establece el análisis de estos impactos como especialmente relevantes en 149 DIA (92,5% del total) y en 34 IIA (66,7% del total), y entre las medidas impuestas en las DIA está, en muchas de ellas, el favorable condicionado a que las infraestructuras relacionadas, como las líneas eléctricas de evacuación de energía, también tengan una Resolución favorable.

Estas referencias en las resoluciones incluyen frases que no dejan lugar a la duda como: "el alcance de los estudios de impacto ambiental de los proyectos aislados no permite valorar adecuadamente los efectos acumulativos y sinérgicos, o efectos acumulativos y sinérgicos especialmente relevantes por existir otros parques eólicos o plantas solares fotovoltaicas construidos o en proyecto en la zona o en su entorno".

Junto a las deficiencias observadas, se suelen indicar las instalaciones con las que comparten efectos acumulativos y sinérgicos, indicando en un ejemplo del año 2019 de un parque eólico en los municipios de Blesa (provincia de Teruel) y Moyuela (provincia de Zaragoza), que se advierte por la Resolución la cita en el estudio de impacto ambiental de la existencia en el entorno del proyecto de 9 parques construidos con 249 aerogeneradores y 308,89 MW de potencia conjunta y 55 proyectados con 620 aerogeneradores con 1.549,14 MW de potencia conjunta, relacionados por los previsibles efectos acumulativos y sinérgicos.

De las afecciones a los Espacios Naturales Protegidos y a la Red Natura 2000, las instalaciones energéticas compatibles ambientalmente se sitúan fuera de los límites de estos espacios, en ocasiones en su cercanía, como sucede con una planta solar fotovoltaica en el año 2020 colindante con las Saladas de Chiprana - Humedal RAMSAR, Reserva Natural y RN2000 – incluyendo la DIA favorable una medida para realizar prospecciones faunísticas posteriores a la resolución y la necesaria colaboración con la Dirección del espacio protegido.

Sin embargo, respecto a los efectos perjudiciales sobre la biodiversidad en taxones amenazados, se aprecian impactos significativos. En cuanto a la flora en las DIA, en 108 proyectos (63,2 % del

total) se establece la afección a taxones amenazados. En los IIA la cifra se reduce y 27 (42,2%) del total de proyectos presentan afecciones a flora amenazada que en su mayor parte se asocia a hábitats esteparios.

En la fauna, los impactos son más significativos, de las DIA, 169 proyectos afectan a taxones amenazados (98,8% del total), y de los IIA 61 (95,3%) del total de proyectos presentan afecciones a fauna amenazada de aves y quirópteros.

Un indicador de la falta de tratamiento en los estudios de impacto ambiental es incluir como medidas complementarias prospecciones botánicas y/o faunísticas con posterioridad, condición irregular, ya que para dictaminar la compatibilidad del proyecto en cuanto a los efectos sobre la biodiversidad, los inventarios de flora y fauna deberían estar realizados convenientemente antes de la resolución. Se han detectado del conjunto de resoluciones de las DIA analizadas 47 (29,2 % del total) que condicionaban la realización posterior de una prospección botánica, y 48 (29,8 % del total) la condición era la realización posterior de una prospección faunística.

De la ocupación del suelo, hay que destacar entre las plantas solares fotovoltaicas que el conjunto de las analizadas suma 6.737,83 ha, que comparando con el total en Aragón (1) supone el 28,9% de las construidas y proyectadas. De estos impactos resalta el efecto de barrera para la fauna que supone el vallado perimetral que presentan estas instalaciones.

En las resoluciones analizadas no se contemplan actuaciones respecto a la fase de demolición y abandono de las instalaciones al final del plazo temporal de vida media, lo único es una referencia genérica sin detalles de la restauración ambiental de las superficies resultantes.

Del plan de vigilancia ambiental, unido a la valoración parcial en proyectos aislados de los impactos acumulativos y sinérgicos, resalta la condición de contemplar en el seguimiento estos efectos en un estudio conjunto con las instalaciones de su entorno de relación. Este requisito se obliga en 67 DIA, lo que equivale a un 41,6% del total.

### **Discusión y conclusiones:**

En la Comunidad Autónoma de Aragón, como sucede en otras, se está generando un conflicto metodológico en la aplicación de los niveles jerárquicos de la Evaluación Ambiental cuando sucede una concentración masiva de proyectos, en este caso de energías renovables con las instalaciones de generación eléctrica solar fotovoltaica y eólica.

Llevados por la necesaria descarbonización energética en la lucha contra los efectos del denominado “cambio climático”, en lugar de realizar un planteamiento que tenga su origen en la necesaria planificación estratégica, se ha dejado al mercado que funcione libremente con el control Estatal mediante las subastas para el otorgamiento del régimen económico de energías renovables y obligando a evaluar ambientalmente una ingente cantidad de proyectos aislados y fraccionados, con meras recomendaciones ambientales y dejando a los órganos ambientales que sean los que asuman una labor propia de evaluación del impacto, en ausencia del marco que debería proporcionar la inexistente Evaluación Ambiental Estratégica.

Esta anómala situación ha sido denunciada en Aragón por la Comisión de Medio Ambiente del Colegio Profesional de Biólogos de Aragón (2) y por el Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos. Demarcación de Aragón (3), solicitando en ambos casos una moratoria en la autorización de estos proyectos eólicos y fotovoltaicos, para abordar la necesaria planificación estratégica que ordene ambientalmente y funcionalmente los proyectos ya construidos, los autorizados sin ejecutar, los solicitados que todavía no tienen la DIA compatible y los futuros atendiendo a la capacidad del territorio para asumirlos.

Con el objetivo de dotar de soluciones al presente trabajo, se proponen las siguientes acciones urgentes para desarrollar por las Administraciones públicas:

1. Exigir una moratoria a las plantas solares y eólicas, especialmente las de mayor magnitud sujetas al procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental, hasta que exista una planificación estratégica adecuada de estos proyectos, tanto autorizados como solicitados, y que contemple conjuntamente todas las medidas que deban adoptarse.
2. Solicitar la adecuada coordinación administrativa de los procedimientos de Evaluación Ambiental Autonómica y Estatal, con el objetivo de evaluar proyectos que se superponen o están en proximidad espacial, lo que puede suponer sinergia, duplicidad y acumulación de los efectos previsibles.
3. Diseñar y detallar en los proyectos todas las acciones que se generen en fase de obras, explotación y desmantelamiento de la instalación una vez concluida su vida útil (fase sin contemplar frecuentemente), para que puedan comprobarse sus efectos ambientales, incluyendo todas las actuaciones que las complementan y son necesarias para su desarrollo: líneas de evacuación de energía, subestaciones eléctricas, caminos de acceso, vertederos, gestión de residuos, parques de maquinaria y acopios de materiales, etc.
4. Evitar que las medidas compensatorias sean la excusa para aprobar proyectos con impactos ambientales críticos. No se conocen medidas correctoras y compensatorias suficientes que sean capaces de paliar los impactos severos producidos sobre aves esteparias, aves rapaces o murciélagos, sobre la ocupación de suelos con valor edáfico y sobre el paisaje. Las medidas compensatorias solo deben aplicarse en caso de impactos residuales, nunca en caso de impactos críticos y severos, tal y como establece la Ley 21/2013 de Evaluación Ambiental.
5. Arbitrar un mecanismo explícito para garantizar la independencia técnica plena de los estudios costeados por el promotor.
6. Impulsar y favorecer las soluciones de menor coste ambiental y social, contemplando los efectos sobre la población asentada en el territorio, valorándose, entre otras cuestiones, las repotenciaciones de parques en aquellas zonas de alto recurso eólico y bajo impacto ambiental, la proximidad de las instalaciones, líneas de evacuación de energía y subestaciones a los núcleos de población y sus consecuencias sobre el ruido, el patrimonio cultural y otros efectos perjudiciales.

Ni la oportunidad de desarrollo de renovables ni el aluvión de proyectos deben ser excusas para disminuir las garantías legales de protección ambiental y social ni de la calidad de los proyectos y los documentos ambientales.

Como conclusión, lo manifestado en la presente comunicación no cuestiona la necesidad de implantar las energías renovables ni de quitarle trascendencia a la transición energética hacia la descarbonización, se trata de establecer una urgente planificación estratégica de los proyectos de energías renovables eólica y fotovoltaica, incorporando la necesaria ordenación territorial y ambiental en el escenario de caos en el que se encuentran.

### **Referencias/Bibliografía:**

- (1) Aljarde, J.; Aguilera, D.; Jurado, C.; Pacho, I.; Salinas, P.; Simón M.B.; González M.A.; Montañés A. Clúster de la Energía de Aragón. Impacto ambiental, social y económico de los proyectos de energías renovables eólicos y fotovoltaicos en Aragón (2021).
- (2) Abad García, J. Comisión de Medio Ambiente del Colegio Profesional de Biólogos de Aragón. Manifiesto para establecer una moratoria en los proyectos de energías renovables eólicas y fotovoltaicas hasta asegurar una acción contra el cambio climático sostenible (2021).
- (3) Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos. Demarcación de Aragón. Declaración sobre el impacto ambiental de los parques eólicos y plantas fotovoltaicas en Aragón (2021).

## ANÁLISIS DEL PROCESO DE EVALUACIÓN DE IMPACTO DE INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE EN ESPAÑA. EL CASO DE LOS PROYECTOS DE PUERTOS EN EL PERIODO 2000-2021

Rodríguez Ramírez, E; Arce Ruiz, R.M.

Universidad Politécnica de Madrid, estefania.rodriguez@alumnos.upm.es, Madrid.

**Palabras clave:** Puertos; Declaración de Impacto Ambiental; Evaluación de Impacto Ambiental; Medidas correctoras; Impacto.

### Resumen:

En este trabajo de investigación se analiza la aplicación de los Estudios Impacto Ambiental (EIA) en España durante los últimos 21 años, centrando la investigación en los proyectos de puertos. Se han analizado todas las Declaraciones de Impacto Ambiental (DIAs) publicadas en el BOE durante el periodo 2000–2021, registrándose, entre otras variables, la declaración del órgano ambiental, el tipo de sistema afectado por la obra y los condicionados ambientales exigidos por la Administración para la ejecución del proyecto. Los resultados permiten analizar la validez del procedimiento de EIA para los proyectos de puertos, así como proponer algunas sugerencias para mejorar su aplicación.

### Introducción:

La evaluación de impacto ambiental es indispensable para la protección del medio ambiente. Facilita la incorporación de los criterios de sostenibilidad en la toma de decisiones estratégicas, a través de la evaluación de planes, programas y proyectos, garantizando una adecuada prevención de los impactos ambientales concretos que se puedan generar.

El procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), el cual comenzó en Estados Unidos de América, mediante la National Environmental Policy Act (1969), se incorpora a la legislación española con el Real Decreto Legislativo 1302/1986 que transpone la Directiva Europea 85/337/CEE. Actualmente, la **ley 21/2013, de 9 de diciembre (1)**, de evaluación ambiental, modificada por la Ley 9/2018, de 5 de diciembre, es la que regula el procedimiento de EIA, aunando en una sola normativa los numerosos cambios y modificaciones que este procedimiento ha experimentado a lo largo de los últimos años. Por otra parte, todas las comunidades Autónomas del estado español han desarrollado a lo largo de los años legislación específica en esta materia de cara a la autorización de determinados proyectos en su ámbito territorial.

A pesar de los más de **30 años** de existencia de la EIA en España, son muy escasos los trabajos que analizan su aplicación (2) analizó el periodo 1988–1997, llegando a la conclusión de que en el **94,7%** de los casos el procedimiento de EIA termina en la autorización del proyecto, mientras que solo en un **5,3%** de los casos el órgano ambiental se pronunciaba desfavorablemente. No obstante, hay otros estudios (Mateo–Mantecon, 2012), que añaden datos al análisis de los impactos ambientales de las obras de puertos, o el caso de los proyectos de carreteras (3). Estos resultados refuerzan la importancia de la Declaración Ambiental en el proceso de EIA, ya que, junto al Estudio de Impacto

Ambiental, se convierte en herramienta fundamental para exigir medidas ambientales a la ejecución de proyectos para minimizar impactos.

Por otra parte, los puertos cumplen un papel fundamental en España y tienen características especiales, lo que hace que sean sistemas complejos con diversos impactos ambientales. Algunos de estos son vertidos y emisiones al agua, suelo y aire, producción de desechos, ruido, dragados e introducción de especies no nativas (4), así como las distintas actividades que se llevan a cabo en estas infraestructuras pueden tener un impacto ambiental, también hay mayores riesgos de accidentes ambientales debido al movimiento continuo de los barcos en un área confinada (4).

El objetivo general del presente documento es analizar cómo ha sido la aplicación de la EIA en España en los proyectos de Puertos, a partir del análisis del pronunciamiento del órgano ambiental, la afección a diferentes ecosistemas y espacios protegidos, así como los condicionados ambientales exigidos por la Administración. Se pretende, asimismo, identificar aquellos aspectos mejorables del procedimiento y proponer medidas correctoras para la eficacia de la evaluación del impacto ambiental.

### **Material y Métodos:**

Para el estudio de la aplicación de la EIA en puertos en España durante los últimos 21 años, se han recopilado un total de 48 DIAs del periodo 2000 hasta el año 2021 en la página web del Boletín Oficial del Estado (5). Los proyectos a los que se refiere el presente estudio sometidos a EIA, se encuentran clasificados según (1):

Infraestructuras de transporte: (carreteras, tanto nuevas construcciones como modificaciones de trazado y ampliaciones; aeropuertos; líneas de ferrocarril y **puertos marítimos**).

Se pretende conocer la evolución de la EIA a través del estudio de las declaraciones de impacto ambiental, la afección a elementos del medio, las medidas preventivas, correctoras o compensatorias propuestas y el grado de exigencia ambiental impuesto por la Administración.

### **Resultados:**

- Revisión de las Declaraciones de Impacto Ambiental de Puertos

La legislación ambiental en España entró en vigor el año de 1988, no obstante, la primera declaración de impacto ambiental de puertos localizada es del año 1996. En estudios anteriores (Ruiz, 2010), en el periodo 1996–2009 se publicaron un total de 52 DIAs, que en comparación con otras infraestructuras como carreteras y presas supone una minoría. En base a esta premisa, para complementar el estudio mencionado, se han evaluado las DIA's existentes en el BOE en el periodo 2000–2021 (48), de manera que se puedan detectar los cambios y la evolución del control medioambiental en este tipo de infraestructuras.

- Extensión de las DIA's

Para analizar el contenido y las dimensiones en las DIA's, se estudia el número de palabras que son las que ocupan del BOE donde se aprecia la evolución de la extensión de estas a lo largo del periodo estudiado.

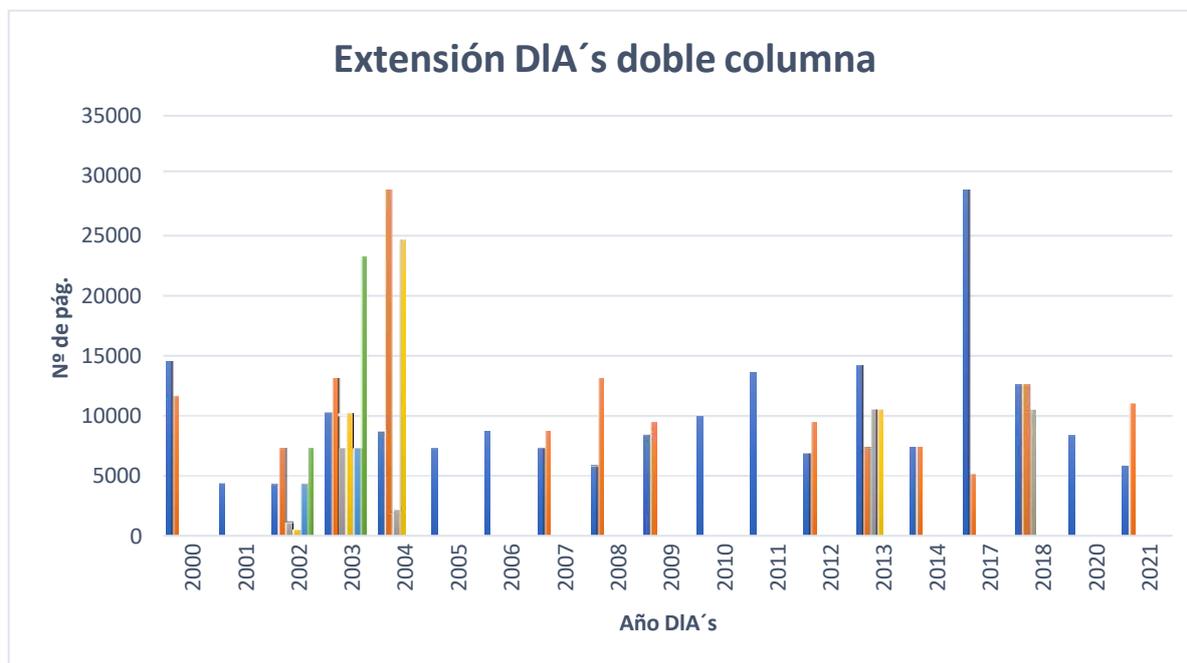


Ilustración 1. Extensión DIA's por año, Fuente: Elaboración Propia

La extensión de las DIA's analizadas no tiene nada que ver con la extensión del proyecto o de las obras que están relacionadas, sino con las características ambientales a las que este afecta. Los EsIA más extensos son los que su ejecución causará **afección directa sobre Espacios Protegidos** tales como espacios de la Red Natura 2000 como Dunes de La Safor, y zonas de especial protección para las aves (ZEPA) como el caso de Montdúver–Marjal de la Safor correspondientes al proyecto de ampliación del puerto de Gandía (Valencia) del año 2017, el cual presenta con diferencia una declaración mucho más extensa que los otros proyectos estudiados, con 28.820 palabras.

Por otro lado, se puede apreciar que más del **56%** de las declaraciones estudiadas presentan una extensión inferior a 10.000 palabras. Se puede obtener el peso de aquellos apartados que suponen un mayor porcentaje en los proyectos de mayor extensión, detectando que no todas las declaraciones presentan el inventario ambiental, habría que analizar los estudios de impacto ambiental completos para identificar si se han considerado en los mismos ya que es una exigencia a nivel de la EIA, por otro lado, como media de todas las DIA's analizadas se obtiene la distribución del contenido representado en la Ilustración 2.

La documentación adicional a la que se hace referencia en la ilustración 2, supone aproximadamente un 4% del contenido de las DIAs e incluye información referente al EsIA de importancia para la declaración, como lo son estudios batimétricos y arqueológicos, entre otros.

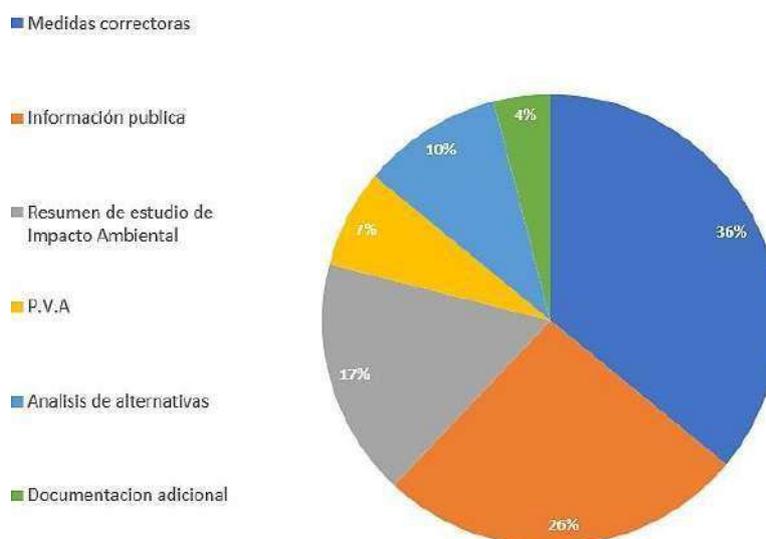


Ilustración 2. Contenido DIA, Fuente: Elaboración Propia, BOE.

Esta distribución se puede considerar positiva, ya que el contenido principal de las Declaraciones de Impacto Ambiental corresponde a la descripción de las medidas correctoras. No obstante, un gran porcentaje de DIA's tienen una extensión inferior a 10.000 palabras, donde solo se mencionan las operaciones preventivas y correctoras que se consideraron en el EsIA, sin la correcta descripción del modo y método de su aplicación. Sería conveniente que se exija a nivel legal en todos los proyectos una estructura exacta para la descripción de la incorporación de las medidas correctoras, dada la influencia que las DIAs tienen en la ejecución de la obra.

o Proceso: Análisis de las DIA's

De 48 declaraciones evaluadas, un **81%** ha obtenido una declaración favorable, el **6%** una declaración desfavorable y un **13%** detecta que no era necesario someter el proyecto al procedimiento de EIA. Así mismo, se identifican en cada proyecto las medidas propuestas por el promotor en el EsIA, las medidas condicionantes por parte del órgano ambiental y las medidas rechazadas por el órgano ambiental.

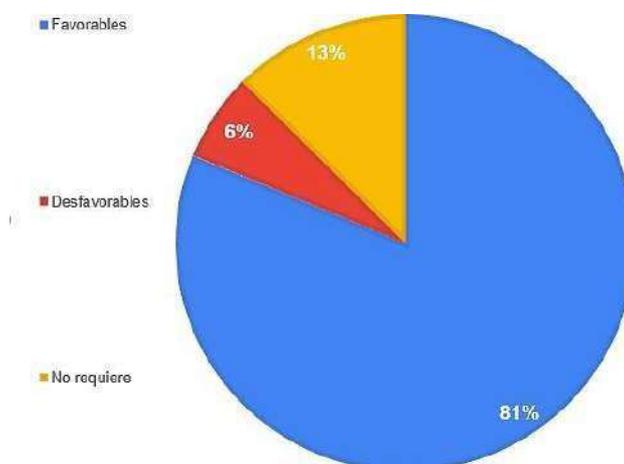


Ilustración 3. DIAs de Proyectos de puertos 2000-2021. Fuente: Elaboración Propia, datos del BOE.

El **6%** de declaraciones se consideraron desfavorables por identificar que el proyecto causaba críticos efectos negativos sobre el medio ambiente y que las medidas que se proponían no garantizaban una completa corrección o una adecuada compensación de los impactos, incluso después de las recomendaciones realizadas por los órganos ambientales. Los 3 proyectos rechazados correspondían a ampliaciones y modificaciones de puertos existentes. El órgano ambiental detectó una serie de carencias, entre ellas que no se aportó suficiente información sobre los aspectos del proyecto con posibilidad de efectos ambientales, falta de caracterización de impactos sobre recursos pesqueros o sobre el patrimonio cultural, ambigüedad en las medidas correctoras y preventivas presentadas por el promotor (una de las razones más repetidas), falta de justificación de la realización del proyecto por razones relacionadas con la salud humana y la seguridad pública.

En el procedimiento de información pública, en el 51% de las DIA's analizadas se presentan alegaciones. Los organismos que más participan son la Dirección General de Costas, Dirección General para la Biodiversidad y Calidad Ambiental, el Instituto Español de Oceanografía, Ecologistas en Acción, Secretaría General de Pesca Marítima (MAPA), SEO/Birdlife. Los cuales preferentemente alegan en referencia a la falta de justificación de la realización del proyecto y las medidas incompletas o poco detalladas para la protección de especies y espacios protegidos.

Por otro lado, de las consultas realizadas en el proceso de información pública, solo se contestan en un 44% en cada proceso de Evaluación de Impactos. Así mismo, no se puede decir que haya orden ascendente o descendente en cuanto a las personas, instituciones o administraciones que contestaron a las consultas del órgano ambiental en base al año de la realización del proyecto, manteniendo el porcentaje anteriormente mencionado.

Este resultado demuestra cómo, en última instancia, el procedimiento de EIA no actúa tanto a nivel de vetar proyectos como de introducir medidas para reducir o compensar los impactos derivados de la ejecución de estos. Se observa cómo los órganos ambientales se encargan de identificar discrepancias o la necesidad de complementación del estudio, y solo si se pasan por alto todas las recomendaciones y medidas propuestas en las alegaciones y proceso de información pública se considera la declaración de impacto ambiental negativa.

Por otro lado, resulta muy llamativa la elevada proporción de proyectos de puertos que afectan a áreas protegidas en el período estudiado: el **40% de los proyectos** sometidos a EIA afectaban a espacios naturales y hábitats de interés comunitario. Además, se observa que, aunque con el paso de los años ha evolucionado la importancia que se le otorga al medio ambiente en obras de infraestructura, la incidencia en áreas protegidas se ha mantenido a lo largo de los años. Posiblemente haya una relación con la entrada en vigor de la **Ley 6/2001, de 8 de mayo**, que introduce la obligatoriedad de someter a EIA aquellos proyectos que pudiesen afectar directa o indirectamente a espacios de la Red Natura 2000 y a humedales incluidos en la lista del Convenio Ramsar. El porcentaje de afección resulta muy elevado; como se cita en el Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte, España declaró 38 zonas Ramsar y el 70% de ellas posee al menos una infraestructura de transporte que se sitúa a menos de 5 km de su centro (7). Aunque, hay otros elementos que se consideran en un mayor porcentaje, los espacios naturales y hábitats de interés comunitario se estudian sin excepción en todos los proyectos, aquellos que omiten su análisis o

presentan medidas correctoras inadecuadas son los que obtienen declaraciones negativas o se les exige alternativas que prevengan la afección a estas zonas.

Asimismo, los tipos de ecosistemas afectados por los proyectos de puertos son variados, pero es uno de los factores a los que se da mayor peso en las declaraciones de impacto ambiental. Solo un 20% de los proyectos evaluados dicen no afectar a las biocenosis marinas, y un 38% declaran que no tienen efecto sobre las especies marinas y migratorias.

Por otro lado, hay ecosistemas y especies cuyo análisis está presente en la mayoría de los proyectos, como son de las praderas de sebadal (24%), praderas de Posidonia (20%), las comunidades bentónicas (46%), así como fauna marina (58%), especies de aves (38%) y moluscos y bivalvos (18%). Referente a estas afecciones, todos los proyectos con declaración favorable proponen medidas para disminuir la afección o compensar el impacto, entre las cuales se repiten:

- Seguimiento de las especies de biocenosis marinas
- Trasplante de vegetación afectada
- Evitar voladuras en zonas de concentración de especies protegidas y durante los periodos de migración de aves marinas
- No realizar obras durante periodo de reproducción de especies
- Rescate y traslado de las especies protegidas, especificando modo y lugar de traslado.

Al ser los proyectos de puertos tan variados, los ecosistemas afectados son diversos, no obstante, la fauna que es afectada en un gran porcentaje de los proyectos estudiados son los moluscos, la tortuga marina, el delfín mular, así como las gaviotas. También está presente la afección a las praderas de posidonia, *Cymodocea nodosa* (praderas de sebadal) y las comunidades bentónicas, en general.

Otro indicador que sufre gran afección por los proyectos de puertos es el sector pesquero, hay que tener en cuenta que la participación de este sector en la actividad de España se sitúa alrededor del 1% del PIB y que su importancia es mayor en regiones del noreste y norte de España, sin olvidar otras regiones, como Andalucía y Canarias. No obstante, solo el **59,1%** de las DIAs analizan el efecto de las obras sobre su funcionamiento y proponen medidas para el seguimiento de dicha actividad.

Entre los proyectos con declaración de impacto ambiental favorable es interesante destacar que el factor que **menos** se analiza y por el que menos se presentan medidas correctoras es la calidad de aguas de baño, esto es consecuencia de que la gran mayoría de las obras de puerto no consideran el baño, ni tienen instalaciones donde esta actividad se permita, no obstante, independientemente de que se prevea o no el uso de las instalaciones para el baño se debería exigir la calidad del agua de manera que se cuiden los organismos y el ecosistema, tanto del puerto como de las playas colindantes.

Finalmente, el **13 %** de proyectos a los que no es necesario someter al procedimiento de evaluación de impacto ambiental, no deducen posible existencia de impactos ambientales significativos. Suelen ser proyectos de pequeña magnitud, modificación de puertos existentes o pequeñas actuaciones que no prevén efectos adversos significativos sobre la calidad de las aguas ni sobre las comunidades naturales de la zona donde se llevan a cabo. En estos proyectos se resalta como aspecto positivo el hecho de que se debe de justificar que las obras no suponen un impacto medioambiental

importante para que se pueda aceptar el no sometimiento al procedimiento completo de EIA.

El procedimiento de EIA contribuye a reducir el impacto ambiental de los proyectos de puertos en España, a través de la exigencia de una serie de medidas que minimicen, prevengan o compensen los daños ocasionados sobre el medio ambiente, dado que, en un gran porcentaje de los casos, el pronunciamiento del órgano ambiental resultó ser favorable a la ejecución del proyecto.

Por otro lado, se observa que para cada proyecto hay condicionantes medioambientales diferentes y que el número y detalle de estos cambian a lo largo del periodo estudiado, siendo en los últimos años menos abundantes y específicos. Hay una serie de condicionantes medioambientales que son fundamentales para todos los proyectos de puertos (expuestos en la tabla 1), pero en algunos casos no son analizados por los promotores, por lo que es el órgano ambiental quien declara que es una medida condicionante en el proyecto. En algunos casos, se presentan medidas que el órgano ambiental rechaza, ya que considera que no corresponden al impacto o se requiere otro tipo de medida que se adapte con mayor exactitud.

Elemento del medio	Objetivo	Medida preventiva o correctora	Porcentaje de proyectos en el que se presenta medida
Agua	¿existe afección?		<b>95,5</b>
	Calidad del agua	Control de la calidad del agua marina y sedimentos	79,5
		Empleo de pantallas y/o cortinas antiturbidez	79,5
		Metodología de construcción que minimiza la puesta en suspensión de finos y dispersión de material	52,3
		Control meticuloso de los vertidos y medidas para evitar derrames	75,0
		Barreras de contención para cercar derrames (en caso de ocurrir)	34,1
		Control en la zona terrestre para la recogida de posibles escorrentías	13,6
		Realización de obras solo cuando las condiciones meteorológicas sean favorables (viento y marea)	18,2
		Prohibición del uso de detergentes para la limpieza de las embarcaciones	4,5
		Prohibición del cambio de aceite y repuesto de combustible en la zona	2,3
		Kits antiderrames con material absorbente	2,3
		Medio para la recogida periódica de sólidos flotantes, grasas y aceites	36,4
	Prohibición de operaciones de mantenimiento y reparación de embarcaciones durante la etapa de obras	2,3	
	¿existe afección?		<b>75,0</b>
	Dinámica Marina y litoral	Seguimiento topobatimétrico y granulométrico de las posibles playas afectadas (basculamiento)	65,9
		Aportación de arena a las playas afectadas (en caso de ser necesario)	40,9
		Medida para mejorar la calidad de las playas adyacentes	25,0
Construcción de espigones		11,4	
	Proyecto complementario de recuperación de espacio intermareal	52,3	
¿existe afección?		<b>25,0</b>	
Circulación del agua	Seguimiento de la calidad del agua a causa de la tasa de renovación del agua	27,3	
Biodiversidad, fauna y flora	¿existe afección?		<b>50,0</b>
	Espacios naturales y Hábitats de Interés Comunitario	Carteles informativos respecto a la flora y fauna	25,0
		Uso de draga con sistema de posicionamiento global (GPS) para minimizar la superficie afectada	9,1
		Sujeto a las condiciones de Red Natura 2000	38,6
	¿Existe afección?		<b>90,9</b>
Biocenosis marinas	Seguimiento del desarrollo de la biocenosis marina (en general) durante y después las obras	50,0	

LA EVALUACIÓN AMBIENTAL EN TIEMPOS DE CAMBIO

Elemento del medio	Objetivo	Medida preventiva o correctora	Porcentaje de proyectos en el que se presenta medida	
		Seguimiento de las praderas de sebadal (cymodocea nodosa)	34,1	
		Seguimiento de las praderas de posidonia	27,3	
		Seguimiento de las comunidades bentónicas	59,1	
		Trasplante de la vegetación afectada	40,9	
		Creación de escolleras no destinadas al atraque de barcos	2,3	
		Establecimiento de arrecifes artificiales	4,5	
	¿Existe afección?			<b>70,5</b>
	Especies marinas y migratorias (incluye especies protegidas)	Seguimiento de las comunidades de especies de fauna marina	Seguimiento de las comunidades de especies de fauna marina	79,5
			Seguimiento de las especies de aves	52,3
		No realización de obras durante los periodos de reproducción de especies	15,9	
		Diseño de estructuras aptas para el descanso, cría y alimentación de las aves	4,5	
		Protección de las zonas de producción de moluscos	27,3	
		Rescate y traslado de moluscos.	20,5	
		Medidas de protección de los cetáceos	38,6	
		Rescate y traslado de las especies protegidas	27,3	
¿Existe afección?			<b>59,1</b>	
<b>Biodiversidad, fauna y flora</b>	Sector pesquero	Seguimiento de la actividad pesquera y sus rendimientos	63,6	
		Indemnizaciones en caso de haber afectación al sector	15,9	
		Monitoreo de la aptitud para consumo humano de los recursos marisqueros	29,5	
		Realización de obras fuera de la temporada alta de pesca	13,6	
		Informar a los pescadores sobre la realización de las obras	11,4	
<b>Población y salud humana</b>	¿Existe afección?			<b>70,5</b>
	Calidad del aire	Inspección de la calidad del aire en el entorno de las instalaciones	70,5	
		Limpieza y/o humectación de los caminos de acceso para reducir la emisión de polvo	27,3	
		Uso de medios mecánicos cerrados para la carga y descarga de los materiales	20,5	
	¿Existe afectación?			<b>81,8</b>
		Control y seguimiento de ruidos y vibraciones	Control y seguimiento de ruidos y vibraciones	86,4
			Itinerarios de trabajo limitados	22,7
			Inspección y mantenimiento de la maquinaria y vehículos	29,5
			Filtros insonorizados de neumáticos	2,3
			Empleo de cortinas de burbujas alrededor de la zona de explosiones marinas	6,8
			Construcción de pantallas acústicas en caso de ser necesario	13,6
			¿Existe afectación?	
	Ruido terrestre y marino	Labores de dragado y vertido fuera de los meses de verano	15,9	
		Vigilancia de la calidad del agua en las playas en época de baños	20,5	
	<b>Territorio</b>	¿Existe afectación?		
Fondos marinos y suelos		Balizamiento y señalización de la zona de ejecución de obras para no traspasar este espacio	31,8	
		Trazado de los caminos de circulación de la maquinaria y transporte para minimizar su impacto	27,3	
		Distanciamiento del punto de vertido de sedimentos lejos de la zona afectada	15,9	
Aguas de baño			<b>65,9</b>	
Patrimonio		Verificar la no existencia de restos arqueológicos antes y durante las obras	90,9	
		Vigilancia de los dragados por un arqueólogo especialista.	47,7	
		Protección y restauración de las obras susceptibles a ser dañadas durante las obras	6,8	
		Recuperación y puesta en valor de los elementos arqueológicos identificados	11,4	
<b>Aspecto Ambiental</b>		¿Existe afección?		
	Paisaje	Instalación de elementos para mejorar el paisaje	43,2	
		Mantenimiento y limpieza periódica	20,5	
		Restitución de la calidad del suelo ocupado durante las obras	20,5	

Elemento del medio	Objetivo	Medida preventiva o correctora	Porcentaje de proyectos en el que se presenta medida
		Alumbrado adecuado para minimizar el impacto sobre la avifauna y paisaje	20,5
		Proyecto de restauración paisajística	56,8
	¿Existe afección?		<b>79,5</b>
Residuos	Generación de residuos y gestiones	Recogida y disposición controlada de residuos	68,2
		Tratamiento de residuos por gestor autorizado	40,9
		Recogida periódica y sistemática de sólidos flotantes, grasas y aceites	9,1
		Sistema de aspiración directa para las sentinas de los barcos y su disposición	2,3
		Reutilización de material dragado como relleno	40,9
		Mantenimiento de maquinaria en zona especializada para tal fin	9,1
Otros	¿Existe afección?		<b>72,7</b>
	Logística	Evitar la superposición en el tiempo con obras próximas	4,5
		Celeridad en la ejecución de las obras	6,8
		Ayuda de parte de la autoridad para regular el tráfico de vialidades	15,9
		Estudio de maniobras de los buques dentro del puerto	15,9
		Plan de prevención y lucha contra la contaminación accidental	77,3
		Explicitar en los carteles de la obra el BOE en que se publica la DIA	13,6
		Estimación de la huella de carbono de la actuación	6,25
		Plan de ahorro energético y de recursos naturales durante la explotación del puerto	13,6

Tabla 1. Indicadores estudiados en Proyectos de Puertos. Fuente: Elaboración Propia

## Discusión y Conclusiones:

- El resultado final del procedimiento de las DIAs de proyectos de puertos no es tanto el rechazo a la ejecución del proyecto como la imposición de una serie de condicionados ambientales a cara de la protección del medio ambiente, dado que únicamente 3 de las 51 DIAs analizadas se pronunciaron desfavorables a la autorización del proyecto.
- Las medidas correctoras que se establecen a lo largo del procedimiento de EIA deberían estar recogidas en los documentos del proyecto, y no solo incorporarse en los anejos de integración ambiental. Es necesario, además, que dichas medidas cuenten con una mayor definición, sobre todo a nivel de proyecto constructivo, recogiendo en planos y presupuestándose.
- Ha aumentado el número de proyectos de puertos sometidos a EIA que afectan a áreas protegidas. Aunque el órgano ambiental se muestra más exigente a la hora de imponer condicionados ambientales a estos proyectos, sería idóneo vigilar esta tendencia e introducir nuevas medidas en caso de que se intensifiquen estos proyectos.
- Los elementos del medio Biótico (Vegetación y Fauna) son mencionados como condiciones ambientales en aproximadamente el 40% de las DIA's. Se hace hincapié en la importancia del cuidado de las especies protegidas de flora y fauna y su correcta gestión.
- Son muy pocas las declaraciones que estudian la huella de carbono en las actuaciones, para ser exactos un **6,25%** de las DIA's la analizan. La ley vigente **21/2013** indica que "Aunque las directivas comunitarias no obligan a ello, pero con la previsión de que en breve será un mandato comunitario, y en todo caso por entender que es una referencia ineludible, la ley introduce la obligación de **tener en consideración el cambio climático**", así mismo, en el **anexo IV de contenido del estudio ambiental estratégico**, indica que la información deberá contener como mínimo "Los probables efectos significativos en el medio ambiente, incluidos

aspectos como ... los factores climáticos, su incidencia en el cambio climático, en particular una evaluación adecuada de la **huella de carbono asociada al plan o programa.**” No obstante, aunque es un aspecto mencionado, por no ser una exigencia directa un **93,75%** de las DIA’s no lo analizan.

- La práctica totalidad de las medidas correctoras que se exigen por el órgano ambiental a los proyectos de puertos, tanto para corregir los impactos originados durante la construcción como los ocasionados en la fase de explotación del puerto, han de llevarse a cabo durante la fase de construcción de la infraestructura. Sería deseable, por tanto, introducir mecanismos de control más eficaces para vigilar su realización conforme a las exigencias de la DIA durante el periodo de obras.
- Es preciso velar por el adecuado cumplimiento de los planes de vigilancia ambiental.

### Referencias /Bibliografía:

1. Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.
2. Hernández Fernández, S., 2000. *La legislación de evaluación de impacto ambiental en España. Proyecto de investigación sobre la suficiencia de la legislación y la eficacia de su utilización.* Mundi-Prensa, Madrid, 157 pp.
3. Barbero Rodríguez, J. (\*) y Espigares Pinilla, T. 2010, *Aplicación de la evaluación de impacto ambiental en España en el periodo 1989–2008. El caso de los proyectos de Carreteras.* Ingeniería Civil 157/2010. [http://www3.uah.es/tiscar/Complem\\_EIA/Barbero-and-Espigares-Ing-Civil-10.pdf](http://www3.uah.es/tiscar/Complem_EIA/Barbero-and-Espigares-Ing-Civil-10.pdf) (Visto 28/04/2022)
4. Dabra, R.M., Ronza, A., Stojanovic, T.A., Wooldridge, C. and Casal, J. 2005. A procedure for identifying significant environmental aspects in sea ports. *Marine Pollution Bulletin*, 50:866–874.
5. Boletín Oficial del estado. [www.boe.es](http://www.boe.es)
6. Ruiz Arriaga, S. y García Sánchez, M. 2010, *Análisis descriptivo de la “Dirección Ambiental de Obra” en las Declaraciones de Impacto Ambiental de proyectos de ingeniería Civil.* Ingeniería Civil 160/2010.
7. MINISTERIO DE FOMENTO, 2005. “Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte 2005–2020”. Centro de Publicaciones del Ministerio de Fomento, Madrid, 182 pp.
8. Carrasco García, M y Salamanca Sánchez, A. (2010), *Evaluación de impacto ambiental de infraestructuras. Redacción y tramitación de documentos.* AENOR.
9. Puertos del Estado. <https://www.puertos.es/>
10. Lozano Valero, I., Palacios García de la Rosa, D.), y Doncel Moratilla, A. (2009), *Criterios ambientales a incorporar en proyectos de ingeniería civil para favorecer el procedimiento de Evaluación Ambiental.* Ingeniería Civil 154/2009. (Visto 28/04/2022).

## TRAMITACIÓN DE PLANES ESPECIALES DE INFRAESTRUCTURAS PARA PROYECTOS FOTOVOLTAICOS EN LA COMUNIDAD DE MADRID

Sobrini Sagaseta De Ilúrdoz, I<sup>1</sup>; Martín Jiménez, C<sup>1</sup>.; Torre Rozalen, I<sup>2</sup>.; Mora-Figueroa Lora, C<sup>2</sup>.

1 -ICMA - Ingenieros Consultores Medio Ambiente, S.L., [info@icma.es](mailto:info@icma.es) Madrid, España.

2. - EDP Renewables, Madrid, España.

**Palabras clave:** Evaluación Ambiental Estratégica; Plan Especial; Fotovoltaico.

### Resumen:

En Madrid se están sometiendo un gran número de proyectos fotovoltaicos a Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) de acuerdo a la Ley 21/2013 estatal y la Ley 4/2014, de 22 de diciembre, de Medidas Fiscales y Administrativas de Madrid. Igualmente se requiere una tramitación paralela de un Plan Especial de Infraestructuras (PEI), con el proyecto fotovoltaico como único objetivo, por el procedimiento de la Ley 9/2001, de 17 de julio, del Suelo de Madrid. Este PEI debe someterse a su vez a evaluación ambiental estratégica (EAE) en un caso claro de concurrencia de procedimientos. La doble tramitación es compleja y debe ser coordinada para evitar incongruencias, incluso contradicciones.

Esta comunicación describirá los pasos a seguir para la aprobación de un PEI de este tipo. Para ello se expone el caso concreto del PEI (1) y Proyecto de la instalación solar fotovoltaica Navarredonda (2-3), en Colmenar de Oreja cuyo promotor es EDP Renewables.

### Introducción:

El ámbito del proyecto y del Plan Especial se localiza en el municipio de Colmenar de Oreja, Comunidad de Madrid, aproximadamente 2,5 km al sur de la localidad de Chinchón y 2 km al noreste de la localidad de Colmenar de Oreja. Comprende una planta solar fotovoltaica de 50 MW, la instalación de media tensión en 30 kV encargada de la interconexión de los diferentes centros de Transformación hasta su conexión final en las celdas de MT en la barra de 30 kV de la subestación SET elevadora "Navarredonda" 220/30kV y la propia subestación.



Figura 1: Localización del ámbito del proyecto y Plan Especial en la Comunidad de Madrid.

La Planta Solar se sitúa sobre la cota 770 m. En cuanto a la Subestación SET Navarredonda 30/220 kV, está ubicada de igual manera en el término municipal de Colmenar de Oreja. Su cota aproximada de explanación se sitúa en los 770 m sobre el nivel del mar.

La superficie afectada por el proyecto y Plan Especial es de 135,36 ha, de las que aproximadamente 26,85 ha se corresponden con la superficie ocupada por las infraestructuras eléctricas de las placas solares y los centros de transformación, y el resto se corresponden con superficies destinadas a caminos internos y superficies libres entre conjunto de placas e instrumentación.

Los terrenos donde se implantará la planta solar son tierras de cultivo, desprovistas de cobertura vegetal, tan sólo salpicada por la presencia de comunidades ruderales en los bordes de los caminos.

El municipio de Colmenar de Oreja tiene una población empadronada inferior a los 15.000 habitantes.

## Material y Métodos:

Para este estudio se han consultado diversas fuentes bibliográficas, así como la documentación existente en los expedientes de los procedimientos de evaluación de impacto ambiental (4) y evaluación ambiental estratégica (5).

Las fuentes principales, en este sentido, fueron el Proyecto de PSF Navarredonda e infraestructuras de evacuación asociadas y el Plan Especial de Infraestructuras (PEI) de PSF e infraestructuras de evacuación asociadas de Navarredonda.

Igualmente, ha sido fundamental la revisión de la normativa aplicable para el procedimiento sustantivo de aprobación del proyecto y de aprobación de planeamiento urbanístico del Plan Especial de infraestructuras. Se ha visitado el portal web de la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Agricultura, donde se expone como se lleva a cabo el procedimiento de evaluación ambiental para proyectos (6) y para planes y programas (7).

Con el fin de entender mejor el entorno del proyecto fotovoltaico, se efectuó una salida de campo en la que se realizó un recorrido por los principales en laves del mismo.

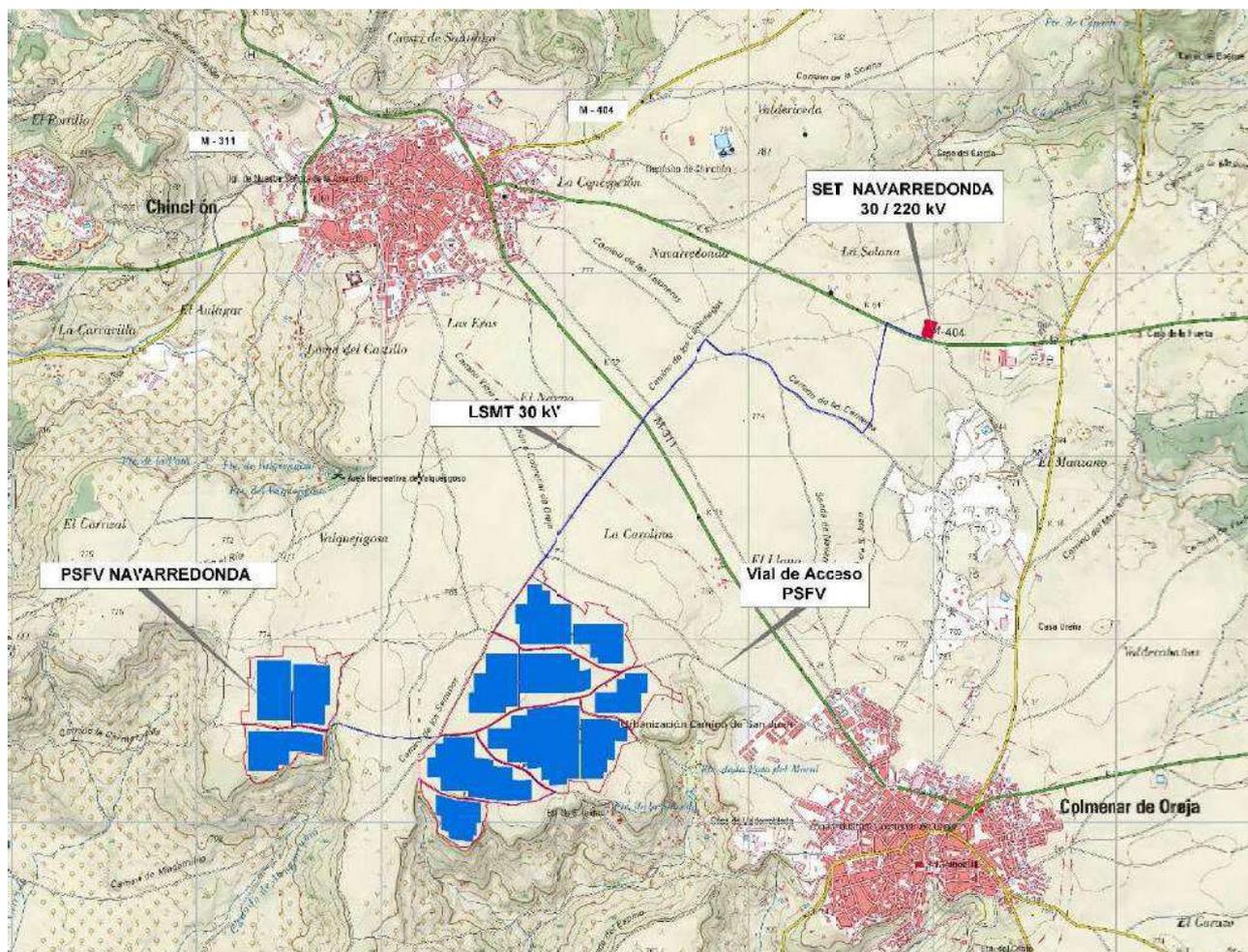


Figura 2: Implantación del proyecto y Plan Especial en el término municipal de Colmenar de Oreja.

Se expone aquí un breve resumen de la normativa asociada a cada tipo de tramitación, con identificación de su órgano ambiental y órgano sustantivo.

*Tramitación de proyectos. Evaluación de Impacto Ambiental ordinaria: proyecto de PSF Navarredonda e infraestructuras de evacuación asociadas.*

Según la Ley 21/2013 de Evaluación Ambiental (8), son objeto de evaluación de impacto ambiental ordinaria los proyectos del Anexo I de la Ley y los fraccionados que alcancen los umbrales del Anexo I mediante la acumulación de las magnitudes o dimensiones de cada proyecto. El proyecto a estudio se encontraba en dicho anexo I, Grupo 3. Industria energética. Apartado j.

Sin entrar en detalle sobre su tramitación, el órgano sustantivo para su aprobación es la Dirección General de Promoción Económica e Industrial (Consejería de Economía, Hacienda y Empleo). El órgano ambiental es la D. G. de Descarbonización y Transición Energética (Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Agricultura).

*Tramitación de Planes Especiales de infraestructuras. Evaluación Ambiental Estratégica ordinaria: PEI de PSF e infraestructuras de evacuación asociadas de Navarredonda.*

Los Planes Especiales que constituyen la figura urbanística para la implantación de infraestructuras de energía fotovoltaica o eólica en la Comunidad de Madrid, deben someterse al procedimiento de evaluación ambiental estratégica (EAE).

El procedimiento de evaluación ambiental estratégica ordinaria para el planeamiento urbanístico consta de los siguientes trámites:

- Inicio del procedimiento.
- Consultas previas.
- Documento de alcance del estudio ambiental estratégico.
- Estudio Ambiental Estratégico (EsAE).
- Información pública y consultas.
- Propuesta final.
- Análisis técnico.
- Declaración Ambiental Estratégica.

Este procedimiento se realiza de forma conjunta con el seguido para la aprobación urbanística, definido en la Ley 9/2001, de 17 de julio, del Suelo de la Comunidad de Madrid (9).

Según los artículos 57, 59 y 61 de la Ley 9/2001, de 17 de julio, del Suelo de la Comunidad de Madrid, referidos tanto al procedimiento de aprobación como al órgano competente para la aprobación definitiva de los Planes Generales, Planes Parciales y Planes Especiales, en la aprobación de un Plan Especial de Infraestructuras, la competencia para la tramitación y aprobación recae en los órganos competentes de la Comunidad de Madrid únicamente en el caso de que el mismo afecte a más de un término municipal, o trate de ordenar infraestructuras, equipamientos y servicios que corran a cargo de la Comunidad de Madrid.

Por otro lado, la competencia para la aprobación definitiva de un Plan Especial de Infraestructuras como el que nos ocupa se atribuye a la Comisión de Urbanismo de Madrid cuando se trate de municipios con población de derecho inferior a 15.000 habitantes, recayendo no obstante en el Ayuntamiento correspondiente la competencia tanto para la tramitación del expediente como para las aprobaciones que corresponda adoptar en fase municipal.

El órgano ambiental es la D. G. de Descarbonización y Transición Energética (Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Agricultura).

### Resultados:

Conocido el alcance del proyecto y del Plan Especial, y conforme a lo estipulado en la Ley 4/2014 (10), de 22 de diciembre, de Medidas Fiscales y Administrativas, que regula el régimen transitorio en materia de evaluación ambiental en la Comunidad de Madrid, la Ley 21/2013, de 9 de diciembre de evaluación ambiental y la Ley 9/2001, de 17 de julio, del Suelo de la Comunidad de Madrid, se expone a continuación un diagrama que sintetiza los pasos a seguir en la tramitación de un expediente de evaluación ambiental estratégica ordinaria para un Plan Especial de infraestructuras, localizado en un único término municipal de la Comunidad de Madrid, con una población de derecho inferior a 15.000 habitantes.

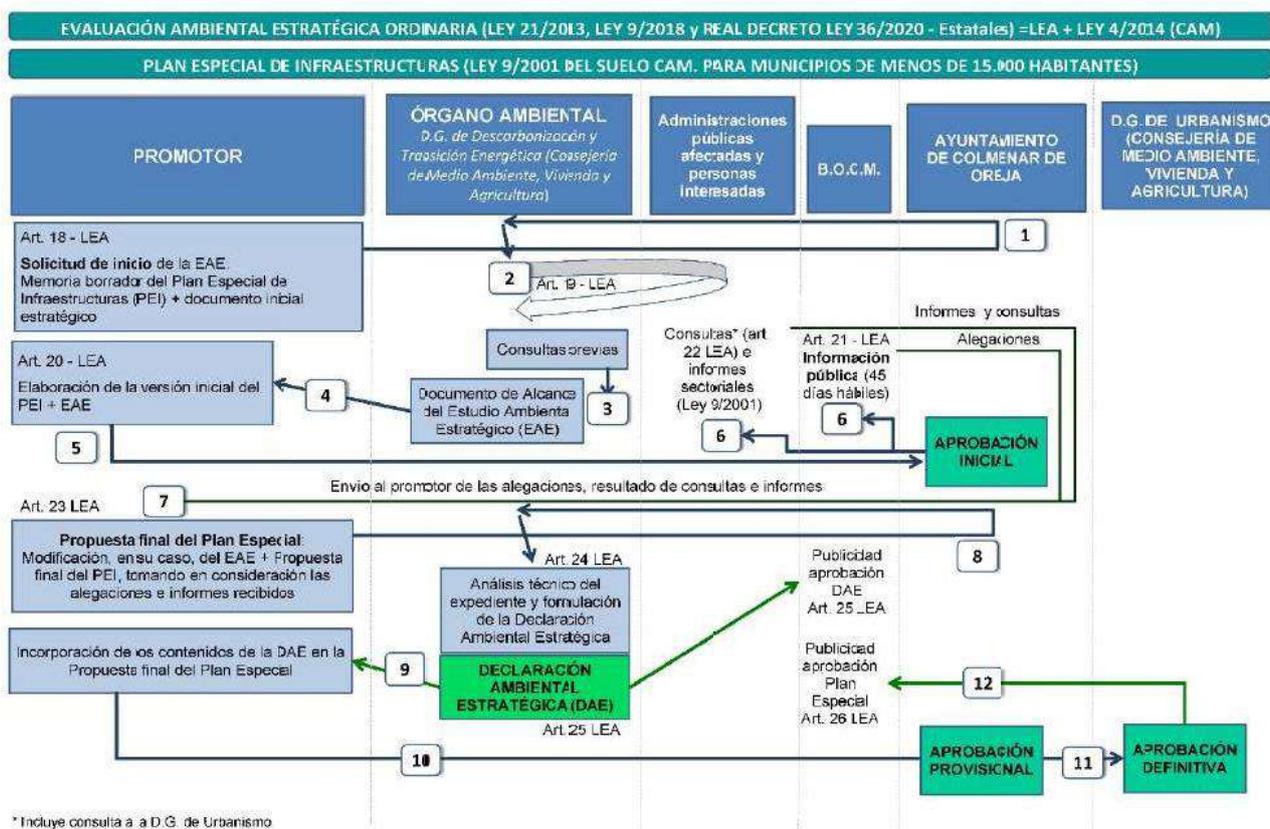


Figura 3: Esquema de evaluación ambiental estratégica ordinaria de Planeamiento urbanístico para un Plan Especial de Infraestructuras de un municipio menor de 15.000 habitantes.

### Discusión y Conclusiones:

Como se observa en el diagrama superior, la tramitación urbanística del PEI de la Planta Solar Fotovoltaica e infraestructuras de evacuación asociadas de Navarredonda supone un buen número de pasos a seguir, que si no son conocidos, pueden dar lugar a devoluciones del expediente o retrasos en la tramitación.

Lleva la complicación añadida de realizarse de forma paralela al procedimiento de evaluación de impacto ambiental de proyectos, por lo que cualquier cambio que afecte al proyecto ha de reflejarse en el PEI, y viceversa. A esto se une el problema de que tras su aprobación administrativa, si se produce una modificación no sustancial del proyecto, hecho frecuente en proyectos fotovoltaicos, esta puede no necesitar de un nuevo procedimiento de evaluación ambiental de proyectos, pero sí de evaluación ambiental estratégica, mucho más rígido en su desarrollo

### Referencias/Bibliografía:

1. ICMA, S.L., Alexandri Ingeniería Civil, S.L. 2021. Plan Especial de Infraestructuras de Planta Solar Fotovoltaica e infraestructuras de evacuación asociadas. T.M. de Colmenar de Oreja (Madrid). Madrid.
2. INGECA, S.L. 2021. Proyecto administrativo PSFV Navarredonda. Oviedo.
3. AYESA, S.A. 2021. Proyecto de ejecución subestación SET Navarredonda 30/220 kV Sevilla.
4. ICMA, S.L. 2021. Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto: Proyecto Administrativo PSFV Navarredonda. T.M. de Colmenar De Oreja (Madrid). Madrid.
5. ICMA, S.L. 2021. Documento Inicial Estratégico Plan Especial de Infraestructuras de Planta Solar Fotovoltaica e infraestructuras de evacuación asociadas. T.M. de Colmenar de Oreja (Madrid). Madrid.
6. Comunidad de Madrid. 2022. <https://www.comunidad.madrid/servicios/urbanismo-medio-ambiente/evaluacion-impacto-ambiental>.
7. Comunidad de Madrid. 2022. <https://www.comunidad.madrid/servicios/urbanismo-medio-ambiente/evaluacion-ambiental-estrategica>.
8. Ley 21/2013, de 9 de diciembre de evaluación ambiental. Texto consolidado. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-12913>.
9. Ley 9/2001, de 17 de julio, del Suelo de la Comunidad de Madrid. Texto consolidado. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2001-18984>.
10. Ley 4/2014, de 22 de diciembre, de Medidas Fiscales y Administrativas. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2015-1956>.

## LA IMPORTANCIA DE LA EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA EN LA ELABORACIÓN DEL PLAN ANDALUZ DE ACCIÓN POR EL CLIMA COMO NUEVO MARCO ESTRATÉGICO PARA LA INCLUSIÓN DE LA PERSPECTIVA CLIMÁTICA EN PLANIFICACIONES, PROGRAMACIONES Y ACTUACIONES

Tola Pérez, I; Álvarez Peláez, S.; Moreno Castro, C.  
Oficina Andaluza de Cambio Climático; [cambioclimatico.cagpds@juntadeandalucia.es](mailto:cambioclimatico.cagpds@juntadeandalucia.es);  
Sevilla

**Palabras clave:** PAAC; Plan Andaluz; Acción Clima; Cambio Climático; OACC; Planificación Estratégica Andalucía.

### Resumen:

El Plan Andaluz de Acción por el Clima 2030 (en adelante, PAAC)<sup>(1)</sup>, aprobado por el Decreto 234, de 13 de octubre de 2021<sup>(2)</sup>, constituye el nuevo instrumento general de planificación estratégica en Andalucía para la lucha contra el cambio climático. Se deriva de la Ley 8/2018, de 8 de octubre<sup>(3)</sup>, de medidas frente al cambio climático y para la transición hacia un nuevo modelo energético en Andalucía, con la misión de integrar el cambio climático en la planificación regional y local, para a la vez alinearlas con los planes del Gobierno de España, el Pacto Verde Europeo y el Acuerdo de París, contribuyendo a alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible marcados por la Agenda 2030 de Naciones Unidas.

Tal y como se establece en su Acuerdo de Formulación<sup>(4)</sup> aprobado mediante Acuerdo de Consejo de Gobierno el 9 de enero de 2020, su tramitación ha contemplado los procedimientos de evaluación ambiental estratégica, la incidencia sobre ordenación del territorio e impacto en salud. Además de los procesos propios de aprobación por un acto normativo.

El procedimiento de evaluación ambiental estratégica, que se coordinó para optimización de plazos de tramitación con el proceso de aprobación como decreto, ha seguido la tramitación prevista en el artículo 38 de la Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental. Se han presentado inicialmente los objetivos, alcance y contenidos posibles de la planificación, la incidencia previsible sobre otros planes, y sus potenciales impactos ambientales, que surgen del análisis de las interacciones que se producen entre los objetivos que guiarán la ejecución de los programas de acción, y los elementos ambientales y socioeconómicos presentes en el ámbito.

El PAAC se ha elaborado asegurando la participación real y efectiva de los agentes implicados y enriqueciéndolo con colaboraciones externas. Asimismo, se ha realizado un importante esfuerzo para asegurar la coherencia externa del Plan con las principales políticas con afección en cambio climático a nivel europeo, nacional y regional.

### **Introducción:**

El PAAC constituye el nuevo instrumento general de planificación estratégica en Andalucía para la lucha contra el cambio climático. Persigue la integración efectiva en la planificación autonómica y local de las acciones de mitigación, transición energética, adaptación y comunicación del cambio climático. Además aprovecha las sinergias entre dichas acciones, tomando en consideración los objetivos y directrices establecidos por la Unión Europea y el Gobierno de España en sus planes específicos de lucha contra el cambio climático.

El Plan contempla tres Programas, entre ellos el de Mitigación de Emisiones para la Transición Energética, que tiene por objeto establecer las estrategias y acciones necesarias para alcanzar el objetivo de reducción de emisiones, así como la coordinación, seguimiento e impulso de las políticas, planes y actuaciones que contribuyan a dicha reducción y a la transición hacia un nuevo modelo energético. Por otro lado, el Programa de Adaptación persigue orientar y establecer la programación de actuaciones de adaptación al cambio climático de la sociedad andaluza, el tejido empresarial y productivo andaluz, la Administración de la Junta de Andalucía y las entidades locales, según una evaluación de riesgos asumibles basada en un escenario común. Y por último, el programa de Comunicación y Participación, que tiene por objeto fomentar las acciones de información, formación y corresponsabilización para la participación activa de la sociedad en la lucha contra el cambio climático.

El PAAC define seis objetivos estratégicos, doce objetivos sectoriales y ciento treinta y siete líneas de acción que afectan a 23 áreas estratégicas, que constituyen el marco para planificaciones y programas en los que la perspectiva climática ha de integrarse, alineado además con los requisitos de financiación derivados de la taxonomía verde europea.

La tramitación del PAAC como Decreto ha contemplado los procedimientos de evaluación ambiental estratégica, incidencia sobre ordenación del territorio y valoración del impacto sobre la salud, de acuerdo a la normativa de aplicación, además de los procesos propios de aprobación por un acto normativo. La Declaración Ambiental Estratégica del PAAC<sup>(5)</sup> se obtuvo mediante Resolución favorable de 21 de junio de 2021.

La Junta de Andalucía apuesta por los procesos participativos en el desarrollo de políticas y de planificación, y para garantizar que dichos desarrollos estén conectados con las personas, cuenta con la Ley 7/2017, de 27 de diciembre, de Participación Ciudadana y con organismos como el Instituto Andaluz de Administraciones Públicas que asesora en materia de elaboración de planes estratégicos. Con ello, se persigue el objetivo de incorporar en la planificación aspectos claves de participación que sean, además, responsables con otros como perspectiva de género o transparencia.

Por su parte, la Ley 8/2018 tiene como principios rectores la participación pública e información ciudadana y la gobernanza, y desarrolla distintos canales para fomentar la participación de la sociedad civil en el desarrollo de las políticas de cambio climático y la coordinación y cooperación administrativa.

## Material y Métodos:

Los aspectos principales que se destacan en relación con el procedimiento de Evaluación Ambiental Estratégica del PAAC son el nivel de coordinación entre distintos equipos implicados en la tramitación del PAAC, el desarrollo de un análisis de coherencia externa de un Plan con un carácter transversal que afecta a 23 áreas estratégicas y, por último, el esfuerzo realizado para llevar a cabo un proceso de participación pública efectiva inmersos en un estado de alarma derivado de la Covid-19.

Para la redacción del PAAC y de su Estudio Ambiental Estratégico<sup>(6)</sup> (en adelante EsAE), se crearon grupos de trabajos integrados desde el inicio de los trabajos donde estaban representados los equipos de redacción del PAAC y de su EsAE, el órgano de evaluación ambiental y los órganos competentes en evaluar la incidencia sobre ordenación del territorio e el impacto en salud. Todo ello redundó en una optimización de plazos de tramitación durante el proceso de aprobación como decreto, y una mejora de la coherencia e integración de los criterios de todos estos equipos desde las fases iniciales de redacción del Plan. Como hito principal se destaca el hacer coincidir en el tiempo los procesos de información pública, trámite de audiencia y petición de informes preceptivos del borrador de Decreto, con la segunda ronda de consultas en el proceso de evaluación ambiental estratégica del PAAC.

El EsAE del PAAC presenta los objetivos, alcance y contenidos de la planificación, la incidencia previsible sobre otros planes, y sus potenciales impactos ambientales y socioeconómicos presentes en los distintos ámbitos, siendo los principales:

- Cambio Climático
- Ordenación territorial
- Bienestar social y calidad de vida
- Recursos naturales y energéticos
- Economía circular y transición energética
- Patrimonio natural y servicios ecosistémicos
- Riesgos ambientales
- Calidad ambiental
- Paisaje
- Empleo ambiental

Se analizaron los impactos asociados a los tres Programas de las áreas de mitigación y transición energética, adaptación, y comunicación y participación, valorándose en el EsEA los efectos ambientales positivos y los negativos que pudieran detectarse derivados del mismo.

Dado el carácter transversal del Plan, cobró enorme importancia asegurar la coherencia legislativa y de planificación del mismo. Durante el proceso de redacción del PAAC se llevó a cabo un estudio ad-hoc y pionero en la Junta de Andalucía, por una entidad experta externa independiente, cuyo objetivo era asegurar que el Plan estuviera completamente alineado con la normativa y el marco estratégico en planificación vigente, verificando la complementariedad con otras intervenciones puestas en marcha en el ámbito de aplicación territorial, temporal o competencial, asegurando por tanto la coherencia con el marco instrumental concurrente en la materia.

Los resultados de este trabajo fueron muy enriquecedores, ya que responden a una evaluación externa durante el proceso de elaboración documento que permitió corregir desviaciones y potenciar puntos fuertes en etapas tempranas de la redacción, y responder así a la necesaria coherencia como política pública, tanto en el diagnóstico como en la definición de objetivos y medidas; evitando disparidades o incoherencias entre planificaciones concurrentes. Por ello, se ha presentado como ejemplo de buena práctica ante el Instituto Andaluz de Administración Pública (en adelante IAAP), para su consideración metodológica en la elaboración de futuras planificaciones de la Junta de Andalucía.

Para el análisis del estudio, se identificaron 142 instrumentos de los que se seleccionaron 58 instrumentos como principales para analizar la coherencia del PAAC: 12 de ámbito internacional y europeo, 10 de ámbito nacional y 36 de ámbito regional andaluz, con identificación de los órganos gestores responsables.

En relación con el proceso de participación, el PAAC se ha elaborado asegurando la participación de los agentes implicados y enriqueciéndolo con colaboraciones externas. Durante todo el proceso de redacción y tramitación del PAAC se ha perseguido garantizar la gobernanza y la participación real y efectiva de la ciudadanía, de los agentes económicos y sociales, así como de las administraciones públicas afectadas, teniendo en cuenta la perspectiva de género.

En desarrollo de la Ley 8/2018 se crearon dos estructuras con incidencia en la participación, gobernanza y seguimiento del PAAC. En primer lugar la Comisión Interdepartamental de Cambio Climático, creada mediante el Decreto 44/2020, de 2 de marzo<sup>(7)</sup>, tiene como objetivo fundamental fomentar la colaboración y coordinar la actuación de los diferentes departamentos del Gobierno autonómico en relación a las políticas y actuaciones en la lucha contra este fenómeno. En segundo lugar el Consejo Andaluz del Clima Decreto 175/2021, de 8 de junio, por el que se regula la composición y el funcionamiento del Consejo Andaluz del Clima<sup>(8)</sup>, cuyo fin es actuar como órgano principal destinado a asegurar la participación de la sociedad en la definición de las intervenciones que se pongan en marcha en materia de cambio climático

Al ponerse en marcha los trabajos de diseño del PAAC, se desarrollaron diversas acciones de participación relacionadas con los ámbitos de las Administraciones implicadas con el objetivo de analizar la situación de partida, y compartir el enfoque del Plan.

Se celebraron reuniones bilaterales y multilaterales con distintos departamentos de las Consejerías de la Junta de Andalucía con competencias en las distintas áreas estratégicas afectadas. Se desarrollaron canales de colaboración con expertos en materia de cambio climático y planificación estratégica como el Servicio de Evaluación y Análisis Ambiental para la obtención de datos científicos sobre la evolución de las variables climáticas, la Unidad de Género de Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, el IAAP, la Agencia Andaluza de la Energía o la Agencia del Conocimiento de Andalucía, entre otras instituciones.

Por otra parte, se desarrollaron los procedimientos de participación pública, para los que se elaboraron informes de valoración de las aportaciones recibidas, que se tuvieron en cuenta en la

redacción del PAAC y que se incluyeron como Anexos al propio Plan, en un ejercicio de transparencia con la ciudadanía.

Así, como el proceso reglado de participación en la tramitación de la evaluación ambiental estratégica, se llevó a cabo una primera ronda de consultas del Documento Inicial Estratégico y del Documento de Diagnóstico y Alcance del PAAC, con más de 140 aportaciones recibidas. Posteriormente, se llevó a cabo la segunda ronda de consultas del Estudio Ambiental Estratégico del Plan, que se realizó de forma simultánea a la petición de informes preceptivos y al trámite de Audiencia e Información Pública correspondiente a la tramitación del Plan como decreto, en la que se recibieron 11 informes preceptivos y más de 200 aportaciones provenientes de 26 entidades.

Adicionalmente, se implementaron herramientas participativas innovadoras para la generación y mejora de los contenidos, en línea con las directrices publicadas por el IAAP para la elaboración de planes estratégicos de políticas públicas. Dentro de los procesos participativos de elaboración del PAAC, debe destacarse la realización del Taller sectorial sobre el Documento de Diagnóstico y Alcance del PAAC. Su objetivo principal fue reforzar el diagnóstico del PAAC y detectar oportunidades de mejora con las aportaciones de los participantes sectoriales desde su experiencia, y así enriquecer el conocimiento para definir las estrategias de mitigación y transición energética, adaptación y comunicación que quedarán integradas en el PAAC. Esta participación se considera clave para el posterior desarrollo de medidas eficaces de lucha contra el cambio climático en Andalucía, por lo que la Junta de Andalucía se planteó ir más allá de las obligaciones legales de tramitación con este tipo de actuaciones.

En el Taller participaron más de un centenar de representantes de 79 entidades representando a administraciones públicas, universidades, centros de investigación, empresas, colegios profesionales, entidades locales, organizaciones ecologistas y sindicales, entre otras.

La celebración del Taller fue en modalidad online, condicionada por las fuertes limitaciones que impuso en ese momento la crisis sanitaria de la COVID-19, contando con el apoyo de la Comunidad Europea de Innovación y Conocimiento, Climate-KIC, con gran experiencia en herramientas participativas innovadoras, y enmarcando la colaboración en el proyecto europeo de innovación “Forjando Resiliencia en Andalucía”.

El Taller se celebró en dos partes, una primera de cinco sesiones sectoriales y una sesión multisectorial de cierre para complementar y validar los resultados del primer taller. Se trabajó en la identificación, de forma sucesiva, de los principales peligros climáticos y amenazas, de los más importantes impactos y vulnerabilidades de nuestra región y, por último, en la identificación de las capacidades fundamentales para aumentar la resiliencia. El análisis se realizó sobre una base territorializada, de manera que se pudieron hacer valoraciones de ámbito regional y provincial o de cuencas hidrográficas.

El resultado final fue el diagnóstico y mapeo de amenazas, impactos, vulnerabilidades, y elementos de resiliencia del cambio climático en Andalucía. La valoración general de los talleres, obtenida a través de cuestionarios a los asistentes fue muy positiva, de 8 puntos sobre 10.

### **Resultados:**

Todos los trabajos desarrollados y expuestos en el apartado anterior relacionados con el proceso evaluación ambiental estratégica, análisis de coherencia externa y participación pública del PAAC,

supusieron un esfuerzo importante en el marco del procedimiento de tramitación del mismo, pero redundaron en una mejora de la calidad técnica del documento, en una de la consideración de los aspectos ambientales, sobre la ordenación del territorio y la salud en el Plan y en una disminución de los plazos administrativos de tramitación para una planificación de esta envergadura.

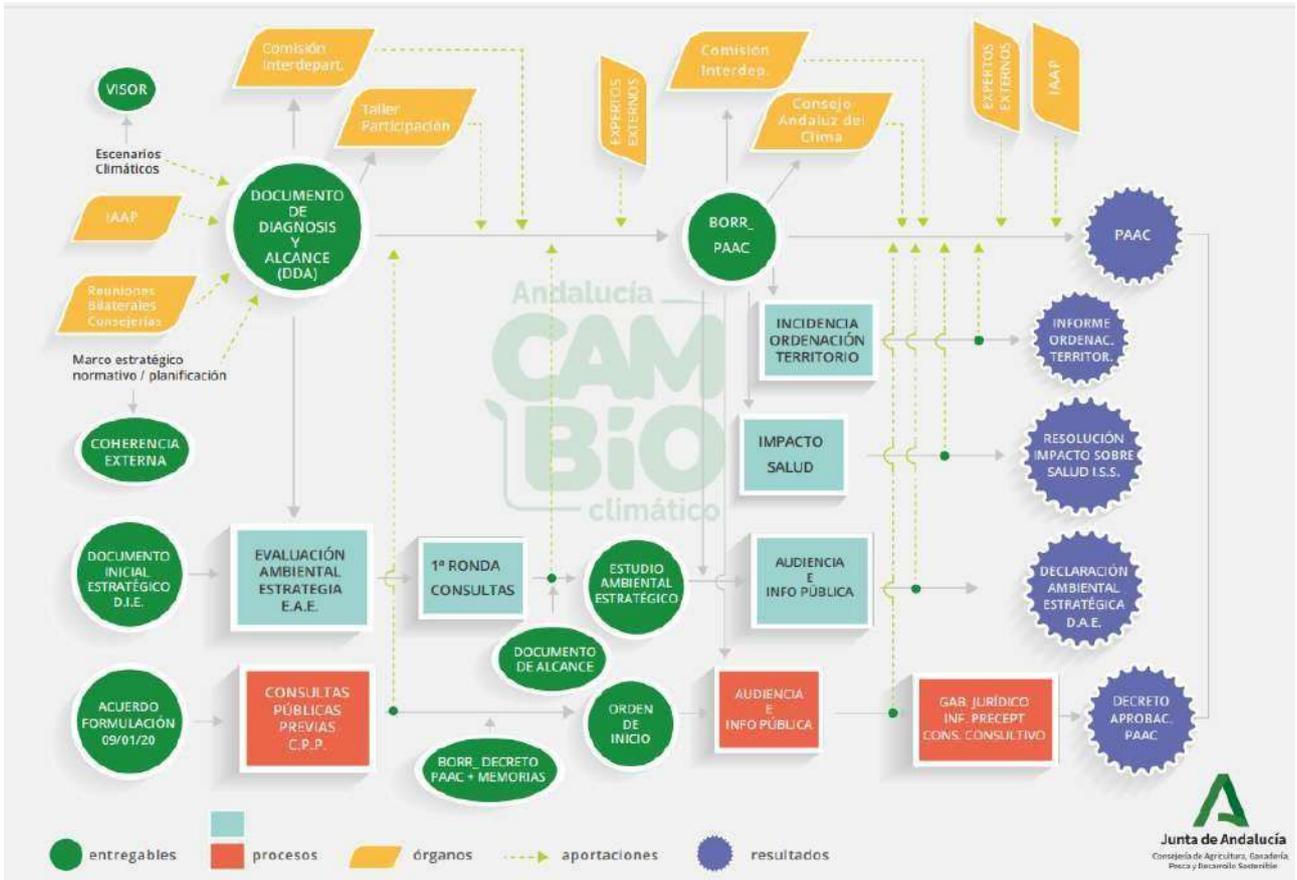
### **Discusión y Conclusiones:**

El esfuerzo realizado en las labores de coordinación temprana entre grupos de trabajo para la evaluación ambiental estratégica, incidencia en la ordenación del territorio e impacto en salud, así como el estudio para asegurar la coherencia externa del PAAC y los procesos de participación pública y consulta de expertos, supuso un desafío importante en la redacción y tramitación de un Plan con un alcance y transversalidad como el de esta importante planificación estratégica, en un plazo ajustado sólo a 22 meses, y desarrollado durante un periodo de pandemia y el correspondiente estado de alarma.

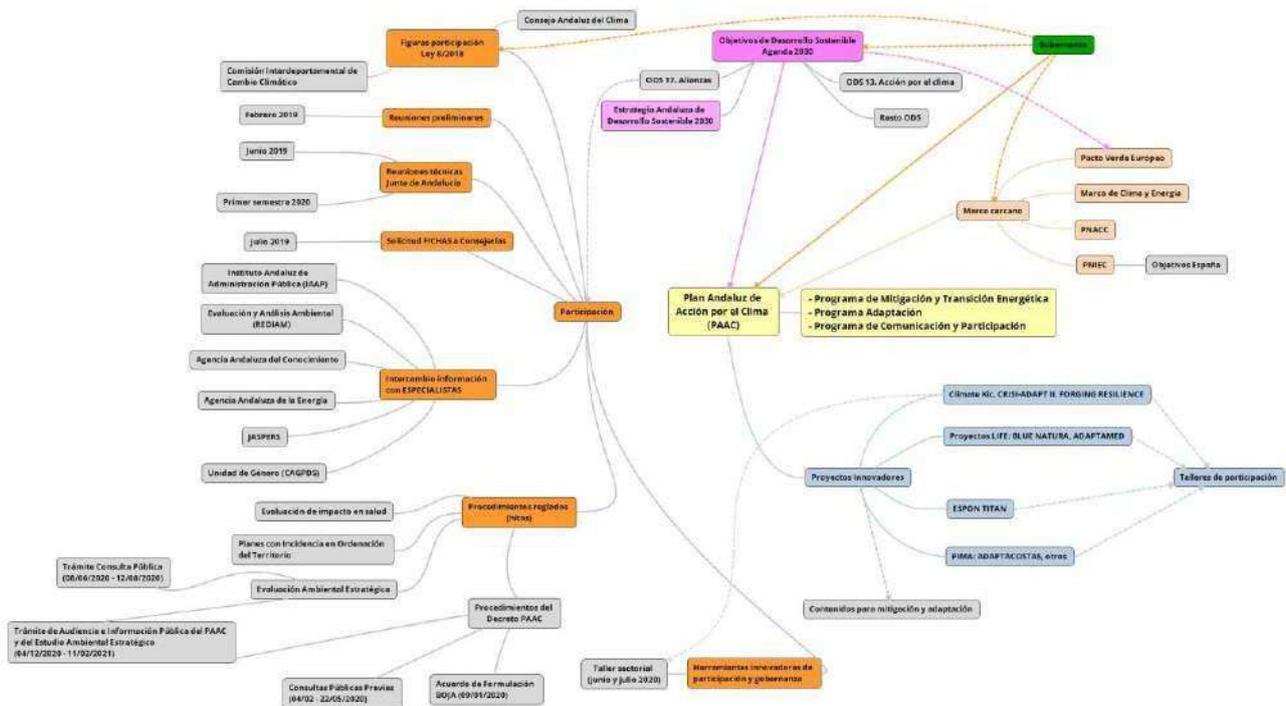
Se han puesto en marcha metodologías de trabajo innovadoras en la Junta de Andalucía para hacer frente a todas estas condiciones de contorno, poniendo de manifiesto la importancia de la planificación de los trabajos desarrollados por la Oficina Andaluza de Cambio Climático durante el periodo de tramitación, siendo el resultado claramente satisfactorio, y con buenas prácticas identificadas, replicables en otros procesos de planificación.

### **Referencias / Bibliografía:**

- (1) <https://lajunta.es/3p01r>
- (2) <https://juntadeandalucia.es/boja/2021/587/1>
- (3) <https://juntadeandalucia.es/boja/2018/199/1>
- (4) <https://juntadeandalucia.es/boja/2020/8/2>
- (5) <https://juntadeandalucia.es/boja/2021/123/29>
- (6) <https://lajunta.es/3p01r>
- (7) <https://juntadeandalucia.es/boja/2020/44/1>
- (8) <https://juntadeandalucia.es/boja/2021/111/5>



Procedimiento seguido para la redacción y tramitación del PAAC como Decreto.



Esquema proceso de participación pública del PAAC



Esquema de programas, objetivos y líneas estratégicas del PAAC

## **ANÁLISIS DE LOS PROBLEMAS DE LA ESPAÑA VACIADA Y PROPUESTA DE ACTUACIONES DESDE LA INGENIERÍA CIVIL. CASO: ZONA BÁSICA CARBONERO EL MAYOR (SEGOVIA, CASTILLA Y LEÓN)**

Vaca Cabrero, J; Arce Ruiz, R.M.

E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM), [j.vaca@alumnos.upm.es](mailto:j.vaca@alumnos.upm.es) Madrid (España)

**Palabras clave:** Despoblación; Gestión del territorio; Propuestas.

### **Resumen:**

La despoblación es un hecho en muchas regiones de España durante las últimas décadas. Supone un reto para la Administración y tiene variadas consecuencias, entre ellas el de abandono a las personas y territorios. En esta comunicación se comenta este problema en otros países y sus casos de éxito. A continuación, se analiza el caso español, determinando las zonas donde se sufre este fenómeno y la problemática que conlleva (abandono, deterioro del patrimonio cultural, involución económica, etc.).

### **Introducción:**

La despoblación de zonas rurales es un fenómeno que se produce en la inmensa mayoría de los países. Esta situación se acentúa en países desarrollados o en vías de desarrollo, donde la mayoría de las oportunidades para prosperar se concentran en las grandes urbes. En la presente comunicación se pretende analizar este problema tomando como referencia una serie de países europeos representantes de distintas corrientes políticas: Suecia como país representante de las políticas sociales nórdicas, Escocia como modelo anglosajón y Francia como modelo centralista.

A continuación, se expondrá brevemente la situación española, delimitando el concepto de España Vacía y enumerando los problemas ocasionados por la despoblación. Por último, se mencionarán una serie de reflexiones previas que están desarrollándose en el trabajo, junto con el caso de estudio de la Zona Básica de Carbonero el Mayor (Segovia, Castilla y León).

### **Material y Métodos:**

#### **Suecia:**

Suecia es un país miembro de la Unión Europea situado en la península escandinava en el noroeste del continente. Según la Oficina de Estadística de Suecia [1], en 2020 la población total del país ascendía a 10.379.295 habitantes de los cuales únicamente el 12% vive en zonas rurales. Desde los años 60, las distintas administraciones suecas llevan intentando paliar este fenómeno.

En Suecia, como en el resto de los países nórdicos, los ciudadanos gozan de un estado del bienestar fuerte y consolidado, basado en el universalismo. Los ciudadanos pagan sus impuestos y las distintas administraciones (Estado, Regional y Municipalidades) están obligadas a ofrecer servicios de calidad desde la educación gratuita a cualquier nivel, sanidad universal, hasta el cuidado de mayores, etc., con la misma calidad y disponibilidad sin importar el lugar de residencia. Aunque existen programas de desarrollo a nivel nacional (Programas Regionales, Fondos Estructurales de la Unión Europea, Programa de Desarrollo Rural Sueco y Programa Europeo de Pesca) es a nivel de municipalidades,

con su autonomía de gestión del estado de bienestar, donde se concentran los esfuerzos para revertir la emigración de las zonas rurales a las urbanas. Los principales motivos que tenían los municipios para llevar a cabo estas políticas eran: aumento de la población y de la actividad económica, mejora de la estructura poblacional en edad de trabajar y atraer mano de obra cualificada [2].

En Suecia existen un total de 290 municipios (territorios que albergan uno o más núcleos de población) de los cuales 171 tienen menos de 20.000 habitantes y 77 menos de 10.000. Este gran número de municipalidades poco pobladas hace que sea difícil costear el estado del bienestar, hecho que se agrava cuando la pirámide de población tiene una base débil. Para paliar este efecto, el Estado Sueco lleva a cabo un mecanismo de solidaridad, los municipios con bases imponibles débiles son compensados por el Estado a través de la equiparación de ingresos. Es decir, los municipios con una estructura demográfica desfavorable (gran cantidad de jóvenes o personas mayores) son compensados por aquellas localidades que cuentan con una gran fuerza de trabajo [3].

### Medidas con la despoblación:

Las municipalidades tienen competencias en la educación hasta secundaria, atención a personas vulnerables y discapacitadas, planeamiento e infraestructuras. A continuación, se exponen las medidas tomadas por las administraciones locales para paliar y revertir el éxodo rural:

- Las administraciones locales, para estimular el crecimiento poblacional, realizan campañas de marketing en distintos medios como anuncios de periódico, radio o televisión o incluso ofreciendo información a través de su página web. Algunos de los atractivos que publicitan son: el valor medioambiental de sus paisajes, la oferta cultural de la zona, la alta calidad de vida en contraposición al estrés de las grandes ciudades. También ofrecen buenas comunicaciones, escuelas y servicios.
- La segunda medida a exponer es la colaboración entre administraciones. La municipalidad de Fagersta tiene un acuerdo con la Oficina de Inmigración sueca para acoger entre 20 y 30 refugiados anualmente (personas a las que les ha sido concedido el asilo por distintos motivos en el país nórdico). La administración local ofrece facilidades a estas personas para integrarse en la comunidad, como clases de sueco o alojamiento asequible [2]. Con esta medida se consigue atraer, y en algunos casos fijar, población que en la mayoría de las situaciones se trata de familias jóvenes con hijos, lo que implica una dinamización de sectores del pueblo como la escuela, las tiendas, la restauración, etc.
- Smedjebacken facilita alojamiento atractivo en la ribera del lago con el objetivo de proporcionar la imagen de desarrollo de una vida tranquila en medio de la naturaleza y con las facilidades que ofrece la localidad, pero evitando el trasiego y estrés de la ciudad. Con esta medida se pretende atraer a mano de obra cualificada y a sus familias con la posibilidad del teletrabajo. Por otro lado, el ayuntamiento ha potenciado el tejido empresarial local para evitar la alta dependencia laboral de Ovako, gran industria situada en la comarca [2].

- De acuerdo con [4], la necesidad de mancomunarse para poder mantener determinados servicios como la escuela está creciendo. Esta medida está cada vez más extendida no solo en Suecia sino en otros países como España.

Como se puede observar, la política contra la despoblación sueca gira en torno a 3 ejes principales:

- Acciones de publicidad y marketing del municipio dirigido a atraer familias, turismo o inversiones destacando las bondades medioambientales del lugar y facilidades para desarrollar su proyecto vital o actividad económica sin grandes desventajas respecto a las ciudades.
- Implicación de las administraciones tanto para facilitar la acogida de nuevos residentes y su integración, como el acceso a vivienda o la oferta de buenas vías de comunicación.
- Colaboración entre administraciones. Con el desarrollo de las mancomunidades, algunos servicios básicos pueden seguir ofreciéndose en localidades demográficamente pequeñas. Por otro lado, también cabe destacar la colaboración entre gobierno central y municipalidades para poblar territorios gracias a la inmigración.

Escocia:

Escocia se encuentra al norte de la isla de Gran Bretaña, abarca un tercio de su superficie (78.700 km<sup>2</sup>). La población del país en 2019 ascendía a casi 5,5 millones de habitantes con una densidad poblacional de 67,5 hab/km<sup>2</sup> [5]. En el norte del país se encuentra la región de las Highlands, este territorio viene sufriendo durante las últimas décadas un proceso de despoblación debido al éxodo que se produce hacia las grandes ciudades del país. Esta región se extiende por más de 25.500 km<sup>2</sup> lo que supone un 32% del territorio escocés, su población asciende a 469.500 habitantes (8.5% de la población del país) y su densidad de población es de 12 hab/km<sup>2</sup> [6].

En 1965 se crea la Highlands and Island Enterprise (HIE), agencia de desarrollo territorial que, aunque está financiada con dinero público a través del gobierno escocés, goza de total autonomía para desarrollar sus políticas, tanto a corto como a medio y largo plazo. Los miembros que forman la agencia son elegidos por sus cualidades técnicas, desde abogados o profesores universitarios hasta ingenieros. La agencia desarrolla su actividad con un amplio consenso político y social, y tienen presencia en todo el territorio, pues su sede central se encuentra en Inverness (capital de la región) y cuenta con 7 oficinas territoriales [7].

De acuerdo con la estrategia desarrollada por Highlands and Island Enterprise, 2022, para el periodo 2019-2022, la población en esta región crece desde el año 2001 y se espera que crezca un 1.3 % en 2040. Las principales oportunidades que identifica la agencia para el desarrollo de la región son:

- Desarrollo de la economía de bajas emisiones de carbono y renovables.
- El entorno marítimo proporciona grandes oportunidades para piscifactorías, pesca, ciencias naturales, ingeniería marítima, turismo y renovables.
- El sector turístico tiene un gran potencial de desarrollo. Gracias a los imponentes parajes naturales y su cultura son capaces de atraer un número considerable de visitantes.

- Industria espacial. Las características de la región son únicas para desarrollar este sector, en julio de 2018 la Agencia Espacial Británica y la HIE anunciaron la creación de un “hub” espacial en Sutherland con una zona para lanzamiento de pequeños cohetes.

El plan operativo propuesto por la agencia HIE para desarrollar la región se estructura por objetivos y acciones a tomar, algunos ejemplos quedan recogidos a continuación:

- Usar el conocimiento para influir en la legislación, contribución activa en los planes de desarrollo futuro a nivel estatal, explorar el capital natural y las oportunidades de una red de emisiones cero y usar las redes de influencia para acceder a fuentes de financiación.
- Proporcionar soporte a emprendedores y “startups” desde liderazgo, acceso a financiación, planes de eficiencia, etc.
- Apoyo a la petición al gobierno central escocés de un nuevo plan de exportaciones.
- Proporcionar soporte I+D y solicitar al Fondo de Manufacturación Avanzada recursos y especialistas de digitalización a los negocios.
- Crear un centro para ciencias de la salud en el campus de Inverness, centro de investigación en el campus de Orkey, aumentar la red de fibra óptica, tomar un rol principal en el desarrollo de las inversiones públicas en materia de transporte, etc.
- Desarrollo de la Academia de las Ciencias, trabajar junto con la Convention of the Highlands and Islands (COHI) para retener y atraer el talento.

Francia:

Este país ocupa una extensión de 543.940 km<sup>2</sup> y tiene una población de 67,8 millones de habitantes con una densidad de 115 hab/km<sup>2</sup> en 2021 [8]. De acuerdo con el estudio encargado por el Parlamento Europeo “Infraestructura de transporte en áreas de baja densidad y despobladas, 2021” [9], la diagonal vacía (Diagonale du vide) es una franja de territorio que cruza el país desde el suroeste hasta el noreste. Esta región, que se caracteriza por ser principalmente rural y con una baja densidad de población, empezó a atraer la atención pública en la década de 1970, cuando la pérdida de población llevó a la clausura de servicios y al deterioro de las condiciones de vida. La Diagonal supone un 33 % del territorio galo, pero solo un 10 % de sus habitantes viven en ella.

En los últimos años se ha conseguido revertir la situación gracias a la implicación de distintas agencias del gobierno francés, aunque la iniciativa de los habitantes locales es también importante.

### Iniciativas públicas:

De acuerdo con el estudio mencionado anteriormente, la Asamblea Nacional aprobó en 2019 la Ley de Orientación de la Movilidad (LOM), la cual promueve la transición hacia modos de transporte sostenible. Esta ley tiene un impacto positivo en las zonas que sufren despoblación, ya que las Autoridades Organizadoras de la Movilidad (AOMs), tienen centros de decisión en los distintos territorios y son capaces así de proporcionar soluciones adaptadas a los mismos.

La Agencia Nacional de Cohesión de los territorios (ANCT) opera un gran rango de políticas públicas focalizadas en la reducción de la desigualdad entre territorios. Entendiendo la diversidad geográfica,

trabajando junto con los gobiernos locales diseñando estrategias específicas para cada uno. También lleva a cabo otros programas a nivel nacional como:

- Acción en el corazón de la ciudad. Mejora de las condiciones de vida de los habitantes de las ciudades de tamaño medio.
- Territorios industriales. Proporciona un apoyo específico para revitalizar la industria local y crear empleo.
- Las pequeñas ciudades del mañana. Apoyo a la revitalización de las pequeñas poblaciones posicionándolas como núcleo central de la red territorial cercana.
- Servicios franceses. Facilitar el acceso a servicios públicos en igualdad de condiciones con independencia del lugar de residencia.

Por otro lado, existe una agencia estatal que lleva a cabo políticas rurales llamada DATAR (Délégation interministérielle pour l'Aménagement du Territoire et l'Attractivité Régionale), Esta agencia creó en 1995 las Zonas Rurales a Revitalizar (ZRR), zonas de baja densidad poblacional y con una estructura socioeconómica débil [10]. Algunas de sus medidas son:

- Toda empresa o persona física que se asiente en uno de estos condados dispondrá de exenciones fiscales.
- Artesanos y comerciantes que se instalen en estas zonas disfrutarán de apoyo financiero.
- Medidas para ayudar a proyectos cuyo objetivo sea la innovación en la industria, organización de servicios públicos, etc.

### Iniciativas privadas:

Existen también iniciativas privadas para revitalizar zonas despobladas. Algunas localidades buscan una transformación a los llamados eco-pueblos en los cuales se fomenta una agricultura y ganadería ecológica o implantación de fuentes de energías renovables. Estas localidades buscan también la atracción de distintos tipos de turismo (agroturismo, turismo de naturaleza, etc.).

Cabe destacar una iniciativa privada que recientemente se ha puesto en marcha gracias a la cooperación de los vecinos del sur de Francia. Railcoop es una cooperativa que en septiembre de 2021 consiguió la licencia para operar la línea de tren Bordeaux-Lyon, recurso fundamental para la actividad de los pueblos que recorre, ya que conseguían exportar sus productos, atraer de forma más fácil el turismo y proporcionar movilidad sostenible, también piensan que puede ser un atractivo para que habitantes de grandes núcleos urbanos se instalen en el campo con la posibilidad de teletrabajo y que el tren les permita estar conectados con una gran ciudad como Lyon cuando sea necesario [11].

### Situación española:

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística (INE) la población total española alcanzó durante la primera mitad del año de 2021 los 47.326.687 habitantes. Como se puede observar en la Figura 1, durante los últimos 25 años la población española ha aumentado en más de 7 millones de habitantes

destacando un fuerte crecimiento en el periodo 2002-2009 con casi 5 millones de habitantes debido en especial al saldo migratorio positivo durante la bonanza económica de esos años.

Si observamos la distribución por edades, España presenta una pirámide poblacional regresiva (Figura 2), de base más estrecha que la zona central, esta imagen se corresponde con países desarrollados cuyo crecimiento poblacional es bajo. Esta situación se agrava en comunidades autónomas donde la base poblacional es mucho más pequeña (Castilla y León, Asturias, Galicia o Aragón).

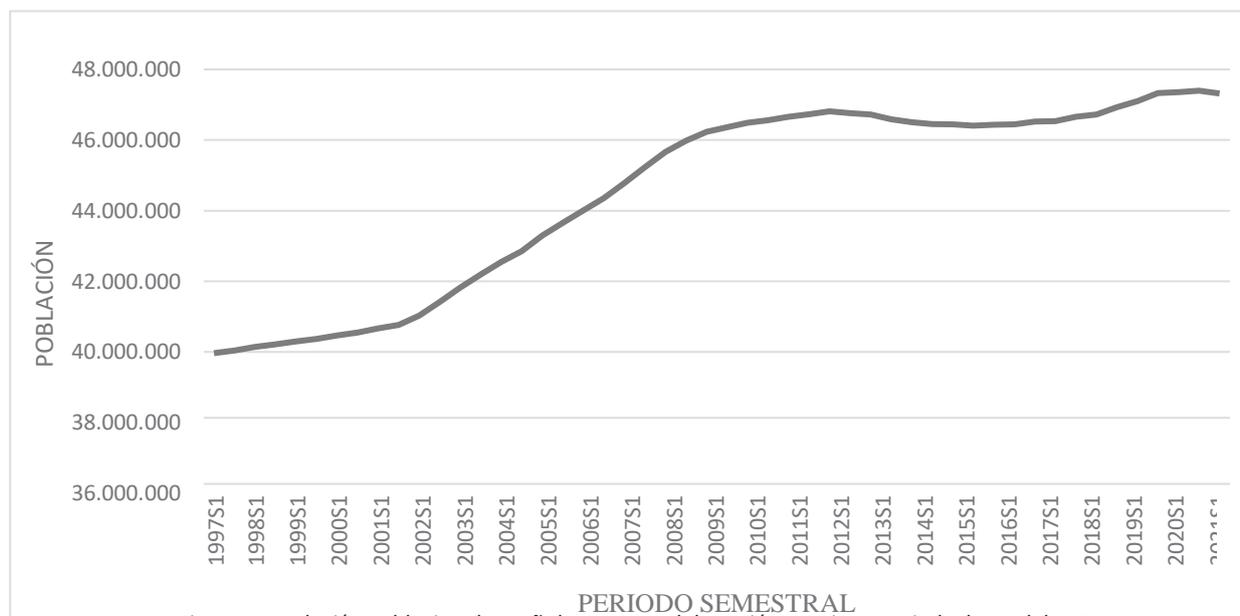


Figura 1: evolución poblacional española. Fuente: elaboración propia a partir de datos del INE.

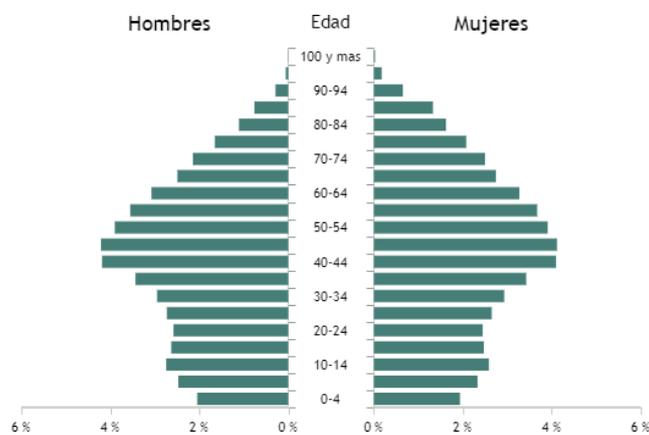


Figura 2: pirámide poblacional española 2021. Fuente: Estadística del Padrón Continuo

España se caracteriza por tener un comportamiento propio dentro de la Unión Europea en lo que a distribución poblacional en el territorio se refiere. De acuerdo con [13], los datos de GEOSTAT 2011 muestran dos patrones diferenciados de la población española en comparación con nuestros vecinos europeos:

- Existencia de una gran superficie deshabitada. Solo el 13% de las celdas de 1 km<sup>2</sup> presentan residentes, siendo el dato más bajo de la UE (Francia se sitúa en 68%, Alemania en un 60% o nuestro vecino Portugal en un 47%).
- Gran concentración poblacional. De media, en cada celda poblada habitan 737 personas, el segundo valor más alto de la UE.

Más allá de estas dos peculiaridades, la densidad poblacional en España es de 94 hab/km<sup>2</sup> (cifra similar a la media europea y cercana a Francia o Portugal).

Por otro lado, este estudio [13] señala que un número importante de provincias españolas poseen niveles bajos de densidad de asentamientos (cantidad de celdas de 10 km<sup>2</sup> habitadas por cada celda de 250 km<sup>2</sup>), hecho únicamente comparable con regiones de países nórdicos.

### Identificación geográfica de la España Vacía

Son numerosos los autores que coinciden en identificar la España Vacía con determinadas regiones del país, aunque difieren en sus límites exteriores todos ellos coinciden en señalar las comunidades autónomas de Castilla y León, Aragón, Castilla La Mancha y Extremadura como las zonas afectadas por esta despoblación [14], [15].

En el presente trabajo se utilizará como referencia geográfica la comprendida por las dos Castillas y Extremadura, coincidente con [16]. La variación de población en los últimos 25 años, en el caso de Castilla y León la mayoría de sus localidades pierde entre un 25 y un 50% de su población, a excepción de los municipios cercanos a las capitales de provincia y a Madrid, que ganan población. También se puede observar que los municipios de Guadalajara, Ávila y Toledo cercanos a Madrid amplían claramente sus residentes.

Los problemas que generan esta dinámica demográfica se pueden clasificar en varios grupos:

Problemas socioeconómicos:

Los flujos migratorios de abandono de las zonas rurales son protagonizados principalmente por jóvenes, esto junto con el aumento de la esperanza de vida supone que las zonas rurales sufran un grave proceso de envejecimiento [17]. Se produce, en consecuencia, un incremento de la demanda de determinados servicios para personas mayores, desde residencias para la tercera edad, centros de día o consultorios médicos. La emigración de los jóvenes de las zonas rurales provoca un descenso de la población en edad de trabajar, provocado por una falta de oportunidades laborales (solo el 2% de empleo generado) [16], esta situación la sufren tanto la mano de obra cualificada como la no cualificada. Esto es lo que los geógrafos califican de declive rural y “círculo vicioso”, los jóvenes emigran a la ciudad para poder emplearse, lo que repercute en los pueblos en una disminución de servicios, creación de empresas, etc. Los puestos de trabajo se reducen y más gente (especialmente jóvenes) tiene que emigrar [14]. Por otro lado, la diferencia de productividad con el mundo urbano hace que se produzcan mayores desigualdades en términos de empleo y rentas, haciendo muy difícil la competencia con las ciudades y provocando que las generaciones jóvenes potencialmente más cualificadas marchen a la ciudad.

La sensación, y en muchas ocasiones realidad, de abandono que sufren los habitantes de estas provincias, ha provocado en los últimos años la proliferación de numerosos movimientos sociales que buscan que sus reivindicaciones se proyecten con más fuerza en el panorama nacional.

Un ejemplo es el de *Teruel Existe*. Esta agrupación lleva desde 1999 organizando actividades, y reivindicaciones para evitar el despoblamiento de su tierra y promocionando su desarrollo [18].

*España Vacuada* es una formación política que plantea un modelo de desarrollo más equilibrado y justo para el conjunto del país, con el objetivo de paliar la despoblación y los desequilibrios territoriales [19]. Esta organización tomó una especial relevancia en las elecciones a las Cortes de Castilla y León en febrero de 2022 donde la plataforma *Soria Ya*, tras 20 años de existencia, se presentaba por primera vez a unos comicios obteniendo el 42,3% de los votos y 3 de los 5 procuradores que repartía la provincia ( EL PAÍS, n.d.).

Problemas de conectividad:

Las infraestructuras juegan un papel principal en lo que a cohesión territorial y fijación de población se refiere. Carreteras o ferrocarriles son de vital importancia para la población que se encuentra diseminada por una amplia región, que para realizar actividades cotidianas como ir a trabajar o hacer la compra han de realizar, en muchas ocasiones, trayectos de varios kilómetros por infraestructuras peligrosas y degradadas. Por otro lado, no solo son necesarias adecuadas obras lineales para mantener a la población. Centros de estudios cuya área de influencia no sea excesivamente extensa, incluso que en las primeras etapas educativas exista ese centro en el propio municipio, son claves para el desarrollo y fijación de familias jóvenes. También son necesarios algún tipo de instalaciones deportivas y centros sociales donde reunirse y desarrollar la vida en comunidad.

La atención sanitaria es clave en el mundo rural, donde la población envejecida reclama estos servicios con más frecuencia. Un buen servicio sanitario de atención primaria es primordial para fijar población y para proporcionar la sensación de cuidado a los habitantes de las zonas rurales.

En cuanto a la alimentación, es conveniente que exista algún tipo de establecimiento donde satisfacer las necesidades básicas o un servicio itinerante que pueda proporcionar por algunos pueblos los productos básicos de la cesta de la compra. También son necesarios establecimientos para el ocio. Locales de restauración o bares juegan un importante papel en localidades pequeñas donde, la única manera de socializar los vecinos es a través de estos establecimientos.

En estas zonas despobladas la conexión con núcleos medios de población o con la capital de provincia en ocasiones es muy complicado, acciones como ir al centro de estudio o trabajo, realizar la compra o satisfacer una necesidad de ocio se convierten en todo un reto. Carreteras en mal estado, servicios de transporte público con intervalos demasiado amplios son algunos problemas a los que se enfrentan los habitantes de estas zonas. Más allá de satisfacer estas demandas, un mejor sistema de transporte es crucial también por otra razón: la difusión de los servicios a domicilio debido a la baja

densidad de población y su dispersión, así como facilitar que los ancianos permanezcan en sus propios hogares prestándoles servicios básicos (comidas, asistencia social y sanitaria) [21].

Para promocionar la actividad comercial en municipios es necesaria una conexión a internet adecuada. Los establecimientos o particulares necesitan que esta conexión sea estable y de gran velocidad para no situarse en desventaja respecto a sus competidores en zonas urbanas. [22].

### **Resultados:**

Desde el año 2019, tanto el Ministerio de Política Territorial y Función Pública como el Ministerio de Economía y Transformación Digital han presentado distintos documentos e informes, en los cuales muchas de las propuestas se encuentran repetidas. En el año 2020, gracias al Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia desarrollado por el gobierno central al amparo de los fondos europeos se elabora el documento: Plan de Recuperación, 130 medidas para el reto demográfico. A continuación, se enumeran someramente los ejes más relevantes para el desarrollo del Plan:

- Eje 1: Impulso a la transición ecológica.
- Eje 3: Desarrollo e innovación del territorio.
- Eje 4: Impulso del turismo sostenible
- Eje 5: Igualdad de derechos y oportunidades de las mujeres y los jóvenes.
- Eje 7: Refuerzo de los servicios públicos e impulso de la descentralización.
- Eje 8: Bienestar social y economía de los cuidados.
- Eje 9: Promoción de la cultura.

### **Discusión y Conclusiones:**

Atendiendo a lo expuesto en las páginas anteriores se pueden llegar a las siguientes reflexiones previas:

Se consideran primordiales las medidas cuyo objetivo sea el frenar la despoblación, como inversiones que proporcionen los servicios que el habitante de la zona en cuestión demande, no sirve proporcionar cobertura 5G a un pueblo cuya población envejecida demanda un consultorio médico y el acceso con cierta regularidad a servicios alimentarios o farmacéuticos. Es necesario, por tanto, un estudio pormenorizado del territorio para no caer en la tentación de proponer medidas generalistas. En definitiva, seguir el lema de “primero frenar y después atraer”.

En lo relativo a la ingeniería civil, cabe destacar la necesidad de mejora de la red de transporte. Una red mallada y segura que proporcione una conexión adecuada a los habitantes de los municipios con la localidad de referencia de cabeza de comarca hace que servicios que se suelen localizar en la localidad más grande sean accesibles, como el instituto de secundaria o determinados comercios. También, la implantación de servicios de transporte a demanda, como, por ejemplo, un número de taxis que ayuden a la movilidad a personas que no dispongan de vehículo privado para poder realizar distintas actividades como una consulta médica en una localidad próxima.

Oficinas territoriales independientes que estudien la zona y posean cierta autonomía para actuar y promover acciones que demande el territorio.

Proporcionar acceso a vivienda asequible y digna a personas que se pueden sentir atraídas de establecerse en el municipio como jóvenes que huyen de los precios de la vivienda en las ciudades, trabajadores del sector primario, etc.

Por último, cabe destacar la importancia de garantizar servicios básicos como es la educación, sanidad, dependencia, etc. a estos territorios.

### Referencias / Bibliografía:

- [1] "Sweden Statistical authority." <https://www.scb.se/> (accessed Mar. 19, 2022).
- [2] P. Larsson, "Rural depopulation policies in Sweden," 2014.
- [3] J. Syssner, *Perspectives on Policy and Planning in Depopulating Areas in Northern Europe*. 2019.
- [4] E. Söderberg, "Swedish rural depopulation," p. 44, 2015.
- [5] GROS, "GENERAL REGISTER OFFICE for SCOTLAND," 2019.  
<https://www.genguide.co.uk/contact/general-register-office-for-scotland-gros/> (accessed Mar. 19, 2022).
- [6] Highlands and Island Enterprise, "Highlands and Islands Enterprise 2019-2022 strategy," 2022. [Online]. Available: <https://www.hie.co.uk/>.
- [7] SSPA, "Executive summary SUCCESSFULLY COMBATTING RURAL DEPOPULATION THROUGH A NEW MODEL OF RURAL DEVELOPMENT : THE HIGHLANDS AND ISLANDS," pp. 1–6, 2017.
- [8] "Insee - Institut national de la statistique et des études économiques," 2021.  
<https://www.insee.fr/fr/accueil> (accessed Mar. 19, 2022).
- [9] L. Bisaschi *et al.*, "Transport infrastructure in low-density and depopulating areas," Feb. 2021, [Online]. Available: <http://worldcat.org/isbn/9789284676958>.
- [10] C. Liu and E. Laske, "The Empty Rural Area Diagonal in France (" Diagonale du vide ")," vol. 14, pp. 90–96, 2010.
- [11] E. Cantón, "Comienza a operar en Francia una línea de tren financiada por particulares," *El Diario*, 2021. [https://www.eldiario.es/ballenablanca/economia/comienza-operar-francia-linea-tren-financiada-particulares\\_1\\_8478198.html](https://www.eldiario.es/ballenablanca/economia/comienza-operar-francia-linea-tren-financiada-particulares_1_8478198.html).
- [12] "INEbase / Demografía y población /Cifras de población y Censos demográficos /Cifras de población / Últimos datos."  
[https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica\\_C&cid=1254736176951&menu=ultiDatos&idp=1254735572981](https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176951&menu=ultiDatos&idp=1254735572981) (accessed Mar. 02, 2022).
- [13] E. Gutiérrez, E. Moral-Benito, D. Oto-Peralías, and R. Ramos, "The spatial distribution of population in Spain: an anomaly in european perspective. Documentos de Trabajo N.º 2028.," vol. 2028, 2020.
- [14] S. Del Molino, *La España Vacía*. Turner Noema, 2016.
- [15] C. Taibo, *Iberia Vacía*. Catarata, 2021.
- [16] J. Díaz-lanchas, D. Loras, Á. Martínez, and T. Roldán, "Despoblación y políticas de lugar. Un análisis con datos de la brecha demográfica, económica, y de actitudes en los últimos 25 años en España," *EsadeEc-Pol*, pp. 1–32, 2022.
- [17] Ministerio de Política Territorial y Función Pública, "ESTRATEGIA NACIONAL FRENTE AL RETO DEMOGRÁFICO Directrices Generales," 2019.
- [18] "Teruel Existe." <https://teruelexiste.info/teruel-existe/> (accessed Mar. 13, 2022).
- [19] "España Vacía ." <https://españavaciada.org/somos/> (accessed Mar. 13, 2022).

- [20] “Elecciones en Castilla y León 2022: Soria ¡Ya! arrasa al concentrar el voto de la España Vacía | Elecciones en Castilla y León 13F | EL PAÍS.” <https://elpais.com/espana/elecciones-castilla-y-leon/2022-02-13/soria-ya-arrasa-al-concentrar-el-voto-de-la-espana-vaciada.html> (accessed Mar. 13, 2022).
- [21] G. Osti, “Mobility demands and participation in remote rural areas,” *Sociol. Ruralis*, vol. 50, no. 3, pp. 296–310, Jul. 2010, doi: 10.1111/J.1467-9523.2010.00517.X.
- [22] Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital, “Plan España Digital 2025,” 2021.



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA  
TERCERA DEL GOBIERNO

MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

**UE23**  
PRESIDENCIA ESPAÑOLA  
CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA